ROHFASERWIRKUNGEN AUF PASSAGERATE UND DIE VERDAULICHKEIT VON ENERGIE, ROHFASER, CELLULOSE UND CHITIN BEI KRALLENAFFEN

Fritz Krombach

1981

Digitized by the Internet Archive
in 2026

https://archive.org/details/IA41546818_0005

Aus dem Institut für
Physiologie, Physiologische Chemie und Ernährungsphysiologie
der Tierärztlichen Fakultät der Universität München

Geschäftsführender Vorstand: Prof. Dr. H. Zucker

Angefertigt unter Leitung von
Prof. Dr. H. Zucker

ROHFASERWIRKUNGEN AUF PASSAGERATE UND DIE VERDAULICHKEIT VON ENERGIE, ROHFASER, CELLULOSE UND CHITIN BEI KRALLENAFFEN

Inaugural-Dissertation
zur Erlangung der tiermedizinischen Doktorwürde
der Tierärztlichen Fakultät
der Ludwig-Maximilians-Universität München

von
Fritz Krombach
aus
München

München 1981

Gedruckt mit Genehmigung der Tierärztlichen
Fakultät der Universität München

Dekan: Prof. Dr. J. von Sandersleben

Referent: Prof. Dr. H. Zucker

Korreferent: Prof. Dr. G. Terplan

Tag der Promotion: 24. Juli 1981

UNIV.
LEIDEN
BIBL.

DISSERTATIONS - UND FOTODRUCK FRANK GmbH
8000 München 2, Gabelsbergerstraße 15, Tel. 2809090

Meiner Mutter

INHALTSÜBERSICHT

		Seite
1.	EINLEITUNG	1
2.	LITERATURÜBERSICHT	4
2.1.	Ernährung der Krallenaffen	4
2.2.	Rohfaser und Ballaststoffe	6
2.2.1.	Zum Begriff der Rohfaser	6
2.2.2.	Die pflanzlichen Gerüstsubstanzen und ihre Bedeutung als Ballaststoffe	8
2.2.3.	Wirkung der Ballaststoffe und klinische Aspekte	12
2.2.4.	Verdaulichkeit von Rohfaser und Ballaststoffen bei Monogastriern	14
2.2.5.	Rohfaser und Ballaststoffe bei nicht-menschlichen Primaten	20
2.2.6.	Analyse von Rohfaser und pflanzlichen Gerüstsubstanzen	21
2.2.7.	Weizenkleie als Rohfaserquelle	22
2.2.8.	Cellulose als Rohfaserquelle	23
2.3.	Chitin und Chitinasen	24
3.	EIGENE UNTERSUCHUNGEN	29
3.1.	Problemstellung	29
3.2.	Material und Methoden	33
3.2.1.	Versuchsplanung und Versuchsdurchführung	33
3.2.2.	Tiermaterial und Tierhaltung	38
3.2.3.	Analytische Methoden	39
3.2.4.	Statistik	41

Seite

3.3.	Versuchsergebnisse	42
3.3.1.	Vorversuch	42
3.3.2.	Versuch (I), Rohfaserquelle "grobe" Cellulose	47
3.3.3.	Versuch (II), Rohfaserquelle Mikro-Cellulose	50
3.3.4.	Versuch (III), Rohfaserquelle Weizenkleie	53
3.3.5.	Versuch (IV), Rohfaserquelle Garnelenmehl	57
3.3.6.	Passagezeit	61
4.	DISKUSSION	65
5.	ZUSAMMENFASSUNG	74
	SUMMARY	76
6.	LITERATURVERZEICHNIS	78

1. EINLEITUNG

Die Krallenaffen werden zu der Primaten-Teilordnung der Neuweltaffen gezählt. Sie haben ihre Heimat vor allem in den östlich der Anden gelegenen Urwäldern Südamerikas und sind, wie alle Neuweltaffen, Baumtiere. Nach der unterschiedlichen Dentition wird die Familie der Krallenaffen in die Unterfamilien Marmosets (z.B. "Callithrix jacchus") und Tamarins (z.B. "Saguinus fuscicollis") eingeteilt (HERSHKOWITZ, 1977).

Auf Grund ihrer geringen Körpergröße (300 bis 600 Gramm Körpergewicht), der schnellen Generationsfolge und der hohen Reproduktionsfähigkeit in Gefangenschaft, aber auch auf Grund der relativ unaufwendigen und kostengeringen Haltungsbedingungen haben Marmosets und Tamarins in der medizinischen Forschung mit Primaten als Versuchstieren in jüngster Zeit große Bedeutung erlangt. Wegen ihrer hohen Empfänglichkeit für eine Vielzahl von Viren werden sie vor allem in der virologischen Forschung eingesetzt. Aber auch in der toxikologischen und teratologischen Forschung, oder als Modelle für die Entwicklung langfristiger Empfängnisverhütungsmethoden finden sie Verwendung.

Das Interesse und die Dringlichkeit der Ernährungsforschung an diesen Tieren hat mehrere Gründe.

Versuchstiere können in der medizinischen Forschung nur dann optimal eingesetzt werden, wenn die Tiere bedarfsgerecht ernährt werden. Dies setzt voraus, daß der Ernährungsstatus der Tiere

hinreichend definiert ist. Ein Nahziel der Ernährungsforschung an Marmosets und Tamarins als Versuchstieren wäre eine standardisierte Alleindiät von definierter Zusammensetzung. Die wenigen Freilandbeobachtungen und Mageninhaltsuntersuchungen erlauben zwar einige Rückschlüsse auf die Ernährungsform dieser Tiere, verläßliche Bedarfswerte für einzelne Nährstoffe liegen bis heute jedoch nicht vor. Eine in mehreren Versuchstierkolonien auftretende Krankheit, das sogenannte "Wasting Marmoset Syndrome" (WMS), ist in ihrer Ätiologie noch völlig unklar. Vor allem Ernährungsfaktoren werden hier als mögliche Ursachen in Erwägung gezogen. Da die meisten Ursprungsländer den Export von Krallenaffen verboten haben, muß heute der Bedarf an diesen Tieren vorwiegend aus Zuchtkolonien gedeckt werden. Ein optimaler Zuchterfolg kann auch hier nur gegeben sein, wenn in Haltung und Ernährung die Bedarfsnormen dieser Tiere erfüllt werden.

Besonders die Frage nach dem Rohfaser- oder Ballaststoff-"Bedarf", d.h. die Frage nach dem für eine Tierart oder Spezies optimalen Rohfasergehalt in der Diät und nach den günstigen Rohfaserquellen, ist bis heute bei nahezu allen nicht-menschlichen Primaten kaum beantwortet. Ebenso ist über die Verdaulichkeit der Rohfaser bei Neuweltaffen nichts bekannt. Der Beantwortung dieser Fragen bei den Krallenaffen (untersuchte Spezies bei Marmosets: "Callithrix jacchus", bei Tamarins: "Saguinus fuscicollis") näherzukommen, war Aufgabe dieser Arbeit.

Da Krallenaffen unter anderem Insektenfresser sind, sollte auch Chitin als Rohfaserquelle untersucht werden, mit besonderem Interesse an der Verdaulichkeit des Chitins.

2. LITERATURÜBERSICHT

2.1 Ernährung der Krallenaffen

Marmosets und Tamarins sind, wie die meisten Neuweltaffen, omnivore Tiere. Sie fressen Früchte, besonders Beeren, Blätter, Blüten, Insekten, Vogeleier, frisch ausgeschlüpfte Vogeljunge, kleine Baumreptilien wie Geckos und auch junge Baumnager (NAPIER and NAPIER, 1967; KINGSTON, 1969; THORINGTON, 1970). Eine Eigenheit in der Zahnausbildung des Unterkiefers der Spezies "Callithrix" und "Cebuella" befähigt diese Tiere zu einer besonderen Nahrungsform. NAPIER und NAPIER (1967) wählten die Begriffe "short-tusked" und "long-tusked", um die Unterschiede der Dentition innerhalb der Familie "Callithricidae" zu beschreiben. Die "long-tusked" Genera, wie "Saguinus", haben ein normales Incisivi-Canini Verhältnis mit deutlich längeren Eckzähnen als Schneidezähnen. Die "short-tusked" Genera, wie "Callithrix", besitzen dagegen nahezu gleichlange Schneidezähne wie Eckzähne. Auf Grund dieser anatomischen Besonderheit können diese Tiere Löcher in die Rinde bestimmter Bäume bohren (z.B. "Anacadium occidentale"), um dann die austretenden Exsudate aufzulecken. Aus Freilandbeobachtungen wird geschlossen, daß diese Exsudate einen bedeutenden Teil der Nahrung von Marmosets ausmachen (COIMBRA-FILHO and MITTERMEIER, 1978). Nach einer Analyse des Exsudates von "Anacadium occidentale" besteht dieser Baumsaft zu 66.5 % aus Arabin, zu 3.0 % aus Cerasin und 13.0 % aus Bassurin. All diese hochverzweigten Polymere

liefern bei Hydrolyse verschiedene Hexosen und Pentosen (MACHADO and LEITE, 1957). Nach CUMMINGS (1976) zählen auch pflanzliche Gummis und Schleimstoffe zu den pflanzlichen Ballaststoffen. Sie besitzen abführende Eigenschaften und haben Wirkungen auf den Metabolismus des Cholesterins und der Gallensalze.

Da Insekten einen großen Anteil der Nahrung von wildlebenden Neuweltaffen ausmachen, wird oft auf einen erhöhten Proteinbedarf geschlossen (GARCIA, 1976). In einer Feldstudie über die Tamarin-Spezies "Saguinus nigricollis" berichtet IZAWA (1978), daß diese Tiere mit Vorliebe kleine Insekten und Harz fressen. Einen Großteil des Tages verwenden sie jedoch für das Fangen von großen, 6 - 8 cm langen Heuschrecken.

Marmosets scheinen eine höhere Aufnahme an Energie und anderen Nährstoffen zu haben als andere nichtmenschliche Primaten. Es wurden Energieaufnahmen in doppelter Höhe des Grundumsatzes ermittelt (KING, 1978). Eine Energieaufnahme von 151 kcal/kg Körpergewicht und Tag wurde für adulte Krallenaffen als Energiebedarf bestimmt (KING, 1975). NICOLOSI und HUNT (1979) geben für Jungtiere kleinerer Neuweltaffen einen Energiebedarf von 300 - 500 kcal/kg Körpergewicht und Tag an, mit dem Hinweis, daß sich dieser nach Ende des Wachstums um 30 - 50 % reduziert.

2.2 Rohfaser und Ballaststoffe

2.2.1. Zum Begriff der Rohfaser

Das Studium der pflanzlichen Gerüstsubstanzen und ihrer physiologischen Effekte ist in den beiden letzten Jahrzehnten wieder stark in den Vordergrund getreten. Verursacht wurde dies hauptsächlich durch epidemiologische Berichte, die Korrelationen zwischen dem Gehalt an Ballaststoffen in der Nahrung und verschiedensten Krankheiten vermuten ließen. Bis heute wurde allerdings noch kein allgemein akzeptierter Begriff gefunden, der diese Gerüstsubstanzen in ernährungsphysiologisch sinnvoller und eindeutiger Weise beschreibt. Ebenso werden bis heute in der Analytik der Ballaststoffe noch verschiedenste Methoden angewandt, und die Vergleichbarkeit von Untersuchungen ist durch die mittels unterschiedlicher Methoden bestimmten Ballastfraktionen stark erschwert.

Der Begriff der "Rohfaser" stammt aus der Mitte des letzten Jahrhunderts. Er sollte in der damals entwickelten Weender-Methode den unverdaulichen Teil eines Futters repräsentieren, zunächst in der Vermutung, daß der nach Behandlung mit verdünnten Säuren und Laugen verbleibende Rest, hauptsächlich Cellulose und Lignin, einen für den Monogastrier unverdaulichen Futteranteil darstellt. Bald jedoch stellte sich heraus, daß auch die so bestimmte Rohfaser teilweise verdaulich ist.

Nachdem aber auch Hemicellulosen und Pektine als teilweise unverdauliche Zellwandbestandteile bekannt wurden, führten McCANCE und LAWRENCE (1929) den Begriff der "Unavailable Carbohydrates" ein. Dieser Begriff hat bis heute Gültigkeit, obwohl ein Teil dieser "nicht nutzbaren Kohlenhydrate" tatsächlich verdaut wird, andererseits Lignin als Bestandteil der Rohfaser ein Nicht-Kohlenhydrat ist. Aus diesen Gründen definierte TROWELL (1972a) die pflanzliche "Faser" als die Gerüstreste der Pflanzenzelle, die der Verdauung durch menschliche Enzyme widerstehen, und nannte dies "Dietary Fiber". 1974 erweiterte TROWELL seine Definition und schloß nun in den Begriff der "Dietary Fiber" neben den Struktur-Kohlenhydraten und dem Lignin auch Zellwandlipide und andere, nicht näher identifizierte Substanzen ein. Diese Bestimmung dürfte den im deutschen Sprachraum üblichen Begriffen "Ballast" oder "Ballaststoffe" weitgehend entsprechen. Daneben existiert noch der historisch viel ältere Ballastbegriff aus der Tierernährung, der die gesamte unverdauliche organische Substanz der Nahrung erfaßt. SPILLER und AMEN (1975) schlugen eine weitergehende Differenzierung dieses Begriffes vor:

1) Nonpurified plant fiber (NPPF) - Alle "Faser"-Substanzen in ihrem natürlichen Zustand, inklusive aller anderen Zellwandbestandteile (Polysaccharide, Lignin, Cutine, Mineralien, etc.). Dieser Begriff soll sich auf alle nicht durch spezielle Anreicherungsverfahren erhaltenen "Faser"-Fraktionen von Getreiden, Früchten und Gemüsen beziehen.

2) Purified plant fibers (PPF) - Nur die Summe der polymeren "Faser"-Komponenten (Lignin, Cellulose, Hemicellulosen).

3) Nonnutritive synthetic fibers (NNF) - Dieser Begriff bezieht sich auf alle "synthetischen Fasern", die gewöhnlich nicht Bestandteil der normalen Nahrung des Menschen sind.

2.2.2. Die pflanzlichen Gerüstsubstanzen und ihre Bedeutung als Ballaststoffe

Cellulose

Cellulose ist die in der größten Menge vorkommende organische Verbindung auf der Erde. Native Cellulose, wie sie in der pflanzlichen Zellwand vorkommt, besteht in ihrer Primärstruktur aus unverzweigten ß(1-4)-D-Glucose-Polymeren von 3.000 bis über 100.000 Einheiten. In der Zellwand bildet sie auf Grund ihrer langen Ketten und Wasserstoffbindungen ein äußerst stabiles, kristallines Netzwerk, das seinerseits die Cellulose-Mikrofibrillen formt. In die interfibrillären Räume sind Lignin, Hemicellulosen und Pektine eingelagert. Innerhalb der Mikrofibrillen lagert sich aber nur ein Teil der Cellulosemoleküle so eng aneinander, daß "Kristalline Cellulose" entsteht, die ihrerseits für Kristalle typische Beugungsmuster liefert. Der andere Teil der Cellulosemoleküle liegt lose aneinandergelagert mit ungeordneter Ausrichtung und wird "Amorphe Cellulose" genannt.

Nur relativ wenige Mikroorganismen können kristalline Cellulose hydrolysieren, während eine Vielzahl von Mikroorganismen amorphe Cellulose spalten kann (LANG and BRIGGS, 1976).

Eine elektronenmikroskopische Untersuchung über die Zersetzung von Cellulosefasern verschiedener Herkunft zeigte, daß der mikrobielle Abbau hochkristalliner Fasern, wie sie in Filterpapier oder Zellstoff vorkommen, sehr langsam geschieht. Es wird vermutet, daß spezielle Enzyme für die Hydrolyse hochkristalliner Cellulose nötig sind. Getrocknete Baumwollfasern widerstehen ebenfalls dem Abbau durch Mikroorganismen, während Fasern mit einer weniger kompakten Struktur leichter abgebaut werden können (BERG et al., 1972). Dies entspricht den Ergebnissen von VAN SOEST (1973), der berichtet, daß bei präparierten Cellulosen und Baumwolle die Verzögerungszeit des mikrobiellen Abbaus länger ist als bei den nativen Cellulosen intakter Futtermittel.

Ihre Bedeutung als Ballaststoff hat Cellulose in ihrer partiellen Unverdaulichkeit und in ihrer Fähigkeit, Wasser aufzunehmen (CUMMINGS, 1976). Die Wasseraufnahme ist wahrscheinlich auf die nichtkristallinen Bereiche der Cellulosefasern begrenzt (SOUTHGATE, 1976). Vor allem die wasserbindenden Eigenschaften sind für das Ansteigen des Kotgewichts bei Celluloseaufnahme verantwortlich (EASTWOOD et al., 1973). Aber auch Wirkungen auf den Metabolismus von Cholesterin und Gallensalzen sind beschrieben (CUMMINGS, 1976).

Hemicellulosen

Im Gegensatz zur Einheitlichkeit der Cellulose bestehen die Hemicellulosen aus einer Vielzahl von Polysacchariden, die teilweise hochverzweigt sind und bei Hydrolyse vor allem Pentosen und Hexosen ergeben. Ein Teil der Hemicellulosen hat einen hohen Gehalt an Uronsäuren. Ein Molekül besteht aus nur 150 bis 200 Zuckereinheiten. Sie sind hochverdaulich und haben wasser- und ionenbindende Eigenschaften (CUMMINGS, 1976). Das Ansteigen des Kotgewichts bei erhöhter Aufnahme von Hemicellulosen wurde von WILLIAMS und OLMSTED (1936) eher auf die Wirkung der entstehenden Metaboliten, vorwiegend flüchtige Fettsäuren, zurückgeführt, als auf die wasserbindenden Eigenschaften.

Lignin

Im Gegensatz zu den anderen Gerüstsubstanzen ist das Lignin kein Kohlenhydrat. Es ist ein kleines, schwer lösliches Polymer mit einem Molekulargewicht von 1.000 bis 4.500. Die Grundeinheiten des Ligninpolymers sind substituierte Phenylpropane, Derivate der Coumaryl-, Guaiacyl-und Sinapylalkohole. Lignin ist unverdaulich, es kann durch körpereigene Enzyme nicht abgebaut werden (GORDON, 1978). Einige mikrobielle Enzyme können jedoch das Lignin angreifen. Daraus resultiert beim Wiederkäuer eine geringfügige Verdaulichkeit des Lignins. Die scheinbare Verdaulichkeit des Lignins in der Arbeit von WILLIAMS und OLMSTED (1936) wurde aus methodischen Gründen

kritisiert (CRAMPTON and MAYNARD, 1938). Lignin beeinträchtigt die Verdaulichkeit der anderen Zellwandbestandteile. Mit dem Alter einer Pflanze wächst der Ligningehalt und die Verdaulichkeit von Cellulose und Hemicellulosen sinkt (GORDON, 1978). Vor allem beim Wiederkäuer ist dies von großer Bedeutung (VAN SOEST, 1973). Beim Nicht-Wiederkäuer scheint das Lignin als limitierender Faktor für die Verdaulichkeit der Zellwand-Polysaccharide nicht so bedeutend zu sein (KEYS et al., 1969), obwohl WILLIAMS und OLMSTED (1936) vermuteten, daß der Grad der Lignifikation von Getreide und Gemüse auch beim Menschen für die Verdaulichkeit anderer Substanzen von Bedeutung ist. Nach WOODMAN (1930) ist auch beim Schwein die Verdaulichkeit von Cellulose aus nicht-lignifizierten oder de-lignifizierten Futtermitteln größer. Ebenso mag auch die detaillierte Struktur einzelner Lignine die Verdaulichkeit der pflanzlichen Gerüstsubstanzen beeinträchtigen (CYMBALUK et al., 1973).

Pektine

Pektine sind komplexe kolloidale Kohlenhydratderivate mit dem Grundbaustein ß(1-4)-D-Galacturonsäure. Neutrale Zucker wie Arabinose, Galactose, Rhamnose und Xylose sind meist angelagert. Ein Teil des pflanzlichen Pektins ist leicht löslich. Mit der Reifung von Früchten wächst dieser leicht lösliche Pektinanteil. Der wasserunlösliche Teil wird Protopektin genannt. Er besteht aus Pektinen, die an andere Zellwandbestandteile, wie Cellulose, gebunden sind, um der Zellwand dadurch Festigkeit zu verleihen (CAMPBELL und PALMER, 1978).

Auf Grund ihrer gelformenden, ionenbindenden und kationenaustauschenden Eigenschaften haben die Pektine als Ballaststoffe größte Bedeutung (CUMMINGS, 1976).

2.2.3. Wirkung der Ballaststoffe und klinische Aspekte

Die Wirkung der Ballaststoffe beruht hauptsächlich auf ihren Effekten auf Kotvolumen, Laxation, Passagezeit, Flatus-Produktion, bakteriellen Metabolismus und auf das Ausscheiden von organischen Anionen, wie Gallensalzen und kurzkettigen Fettsäuren (CUMMINGS, 1973).

Vor allem wegen der wasseradsorbierenden und wasserhaltenden Eigenschaften wird bei erhöhten Aufnahmen von Ballaststoffen das Kotvolumen, bzw. das Kotgewicht vergrößert und die Passagezeit verkürzt. Ballaststoffe haben somit einen abführenden Effekt (WILLIAMS and OLMSTED, 1936; HOPPERT and CLARK, 1945; McCANCE et al., 1953; BURKITT et al., 1972; HARVEY et al., 1973; PAYLER et al., 1975; BRODRIBB et al., 1980).

Der Einfluß von Ballaststoffen auf den Metabolismus von Cholesterin und Gallensalzen wird diskutiert, jedoch sind die Wirkungen im einzelnen noch umstritten (CUMMINGS, 1973; EASTWOOD, 1973; JENKINS et al., 1975; EASTWOOD and MITCHELL, 1976; STORY and KRITCHEVSKY, 1976; HARDINGE, 1978).

Epidemiologische Untersuchungen (BURKITT, 1973; EASTWOOD et al., 1976; WALKER, 1976) erbrachten Zusammenhänge zwischen dem Gehalt an Ballaststoffen in der Nahrung und verschiedenen

Darmerkrankungen. Der Einfluß der Ernährung auf Krankheiten wie Divertikulose, Dickdarmkrebs, venöse Erkrankungen, Hiatus-Hernie, Appendicitis (PAINTER and BURKITT, 1971; BURKITT, 1971; BURKITT, 1972; BURKITT et al., 1972; BURKITT and JAMES, 1973; aber auch auf Erkrankungen der Herzkranzgefäße oder der Atherosklerose sind beschrieben (TROWELL, 1972a,b).

LANG und BRIGGS (1976) fassen die gesundheitsfördernden Wirkungen der pflanzlichen Gerüstsubstanzen wie folgt zusammen: Als tatsächliche Ballaststoffe verkürzen sie die Passagezeit und verringern so die Möglichkeit für eine mikrobielle Produktion von Toxinen oder Carcinogenen, bzw. verkürzen sie die Zeit, die der Organismus einem aufgenommenen Toxin ausgesetzt ist. Als ideale Adsorbantien können sie potentielle Toxine binden, deren Verdauung oder Absorption verhindern und deren Ausscheidung erleichtern. Als besondere Nährstoffkomponenten könnten die Ballaststoffe medizinisch interessante Eigenschaften besitzen. Aber auch als nicht verdaute Substanzen können sie einen indirekten gesundheitsförderlichen Effekt durch Stimulation einer günstigen Bakterienflora oder durch Wachstumshemmung von pathogenen Mikroorganismen haben.

Die negativen Wirkungen hoher Ballaststoffaufnahmen ergeben sich ebenfalls aus ihren physikalisch-chemischen Eigenschaften und ihren physiologischen Effekten. Durch die verkürzte Passagezeit bleibt für die Verdauungs- und Absorptionsvorgänge anderer Nährstoffe weniger

Zeit. Nährstoffe oder Metaboliten können an die Ballaststoffe gebunden werden. Durch die mechanische Erosion an der Darmmukosa kann der Verlust an endogenen Materialien ansteigen (SOUTHGATE, 1973).

2.2.4. Verdaulichkeit von Rohfaser und Ballaststoffen bei Monogastriern

Auf Grund der besonderen Verhältnisse der Rohfaser- und Celluloseverdauung im Rumen soll in diesem Abschnitt auf die vielfältige Literatur über die Rohfaser- und Celluloseverdaulichkeit des Wiederkäuers nicht eingegangen werden.

Mensch

Die Celluloseverdaulichkeit beim Menschen wurde noch wenig untersucht (HUMMEL et al., 1943; HOPPERT and CLARK, 1945; SOUTHGATE and DURNIN, 1970; MILTON-THOMPSON and LEWIS, 1971). Aus den verschiedenen Untersuchungen, deren Ergebnisse stark variieren, ergibt sich ein Mittelwert von ca. 40 %. Auf die starke individuelle Variation (MANGOLD, 1934) und auf eine mögliche Beziehung zum Alter (HUMMEL et al., 1943; SOUTHGATE and DURNIN, 1970) wird hingewiesen.

Aus Untersuchungen über die Verdaulichkeit der Hemicellulosen (WILLIAMS and OLMSTED, 1936; HUMMEL et al., 1943; SOUTHGATE and DURNIN, 1970;) werden Werte von 54 bis 98 % berichtet. Auch hier wird eine Beziehung zum Lebensalter vermutet.

Ratte

CRAMPTON et al. (1951) berichten von einer Rohfaserverdaulichkeit von 10 - 11 %. Die Verdaulichkeitswerte für Cellulosen liegen nach KEYS et al. (1969) je nach Rohfaserquelle bei 0.5 - 20.9 %, diejenigen für Hemicellulosen bei 6.4 - 46.6 %.

Schwein

Untersuchungen von KEYS et al. (1969) und von FONNESBECK et al. (1974) ergaben Verdaulichkeitswerte für Cellulose von 30 -44 % und für Hemicellulosen von 43 - 47 %.

Kaninchen

Nach SLADE und HINTZ (1969) liegt die Rohfaserverdaulichkeit bei 16 %, nach FONNESBECK et al. (1974) die Verdaulichkeit von Cellulose und Hemicellulosen bei 16 % und 25 %.

Meerschweinchen

SLADE und HINTZ (1969) berichten von einer doppelt so hohen Rohfaserverdaulichkeit des Meerschweinchens gegenüber dem Kaninchen. Sie liegt bei 38 % und entspricht den Angaben von CRAMTON et al. (1951).

Pferd

Untersuchungen an Ponies erbrachten Verdaulichkeitswerte für Cellulose und Hemicellulosen je nach Rohfasergehalt des Futters von 45 -63 % und von 58 - 81 % (HINTZ et al., 1971).

Nicht-menschliche Primaten

Eine Untersuchung am Rhesusaffen zeigte eine Rohfaserverdaulichkeit von 38.8 % und 47 %, je nach Diätform (extrudiert und gebacken) (KNAPKA and MORIN, 1979).

Zur besseren Übersicht sind in Tabelle 1 die Verdaulichkeitswerte für Rohfaser, Cellulose und Hemicellulosen bei einigen Spezies gesondert aufgeführt.

Die hohen Differenzen der Verdaulichkeitswerte verschiedener Untersuchungen an einer Spezies liegen einmal an den unterschiedlichen analytischen Methoden, zum anderen daran, daß die entsprechende Rohfaserquelle und vor allem der Rohfasergehalt der Versuchsdiäten für die resultierenden Werte von entscheidender Bedeutung ist. Ein ansteigender Rohfasergehalt in Schweinediäten bewirkt ein Sinken der Rohfaserverdaulichkeit (CUNNINGHAM et al., 1962). KEYS et al. (1970) berichten, daß bei steigendem Rohfasergehalt die Verdaulichkeit von Trockensubstanz, Rohprotein und Hemicellulosen sinkt.

Tabelle 1: Verdaulichkeit von Rohfaser, Cellulose und Hemicellulosen bei verschiedenen Spezies (in %)

Spezies	Rohfaserquelle	Rohfaser	Cellulose	Hemicellulosen	Quelle
Mensch	All-Bran	5	6	--	(HOPPERT and CLARK, 1945)
	Kohl	14	42	--	
	Apfel	71	57	--	
Mensch	Gemischte Diät	--	71	67	(HUMMEL et al., 1943)
Mensch	Standardisierte Vollkost mit 8.5 g/Tag Cellulose-Aufnahme	--	43	--	(MILTON-THOMPSON and LEWIS, 1971)
Mensch	Keine Früchte oder Gemüse außer Tomaten	--	15-55	94-98	(SOUTHGATE and DURNIN, 1970)
	Früchte, Gemüse und Vollkornbrot	--	15-44	72-85	
	Früchte, Gemüse und Vollkornbrot (hoher Gehalt)	--	22	83	
Mensch	Agar-Agar	--	--	59	(WILLIAMS and OLMSTED, 1936)
	Celluflour	--	11	--	
Mensch	Verschiedene Weizenprodukte	7-28	--	--	(CRAMPTON et al., 1951)

Tabelle 1: Fortsetzung

Spezies	Rohfaserquelle	Rohfaser	Cellulose	Hemicellulosen	Quelle
Ratte	Versch. Weizenprodukte	10-11	--	--	(CRAMPTON et al., 1951)
Meerschweinchen		36-51	--	--	
Schwein		-23-15	--	--	
Kaninchen	--	--	16	25	(FONNESBECK et al., 1974)
Schwein	--	--	30	46	
Ratte	--	--	21	26	
Huhn	--	--	10	4	
Kaninchen	Grünmehl	16	--	--	(SLADE and HINTZ,1969)
Meerschweinchen		38	--	--	
Rhesusaffe	extrudierte Diät	47	--	--	(KNAPKA and MORIN,1979)
	gebackene Diät	39	--	--	
Ratte	Grünmehl	--	21	47	(KEYS et al., 1969)
Schwein		--	40	42	
Ratte	Trespe	--	1	11	
Schwein		--	39	47	
Ratte	Knaulgras	--	2	6	
Schwein		--	44	47	

Tabelle 1: Fortsetzung

Spezies	Rohfaserquelle	Rohfaser	Cellulose	Hemicellulosen	Quelle
Pferd	100 % Grünmehl	--	45	73	(HINTZ et al., 1971)
	50 % Grünmehl 50 % Getreide	--	54	73	
	20 % Grünmehl 80 % Getreide	--	63	81	

2.2.5. Rohfaser und Ballaststoffe bei nicht-menschlichen Primaten

Sowohl in der Übersichtsarbeit von KERR (1972) als auch in der neueren Arbeit von NICOLOSI und HUNT (1979) über den Nährstoffbedarf bei nicht-menschlichen Primaten findet man keine Angaben über den optimalen Rohfasergehalt in der Nahrung und die entsprechenden Rohfaserquellen. Käufliche Fertigfutter für Primaten enthalten im allgemeinen 2 - 4 % Rohfaser (LANG and BRIGGS, 1976; KNAPKA and MORIN, 1979). Als Rohfaserquellen für "natural ingredient diets" empfehlen KNAPKA und MORIN (1979) Grünmehl, Trockenschnitzel, Haferschalen und Weizenkleie. MORIN (1978) testete Diäten mit verschiedenen Rohfasergehalten an in Quarantäne stationierten Rhesusaffen. Bezüglich der Morbiditätsrate an Darmerkrankungen und bezüglich der Zahl durchgeführter Behandlungen von Darmerkrankungen erwies sich eine Diät mit 7 % Rohfaser als optimal. Die im "Jersey Zoological Parc" an Krallenaffen verfütterten Diäten enthalten 2.5 bzw. 2.8 % Rohfaser in der Trockensubstanz (KING, 1975). FLURER (1981) entwickelte eine Koloniediät für Krallenaffen mit 3.6 % Rohfasergehalt. NEWBERNE und HAYES (1979) empfehlen für "semipurified diets" Cellulose als Rohfaserquelle, die normalerweise zu 5 - 10 % zugegeben werden soll, im Bedarfsfall auch bis zu 20 %. AUSMAN und GALLINA (1979) weisen auf das Fehlen von Untersuchungen über den günstigen Gehalt an Ballaststoffen in "semipurified diets" hin. Sie empfehlen einen Gehalt von 5 Gramm Ballaststoffen pro 100 Gramm "nutritiver Inhaltsstoffe".

LANG und BRIGGS (1976) warnen vor zu hohen Rohfasergehalten in Versuchsdiäten, da die Tiere auf Grund des Verdünnungseffektes von essentiellen Nährstoffen, aber auch auf Grund der adsorbtiven Eigenschaften der Ballaststoffe in ein Nährstoffdefizit gelangen könnten.

2.2.6 Rohfaser- und Ballaststoffanalyse

1806 entwickelte Heinrich Einhof eine Methode, mit der er mittels Extraktion mit verdünnten Säuren und Laugen die unverdauliche Substanz eines Futtermittels zu bestimmen glaubte. Auf dieser Basis ermittelte er den Nährwert von Gemüsen und Futtermitteln (zitiert nach TYLER, 1975). Einhofs Methode wurde in die Weender-Methode zur Rohfaserbestimmung übernommen, jedoch schon Mitte des letzten Jahrhunderts wurde auf die Unzulänglichkeit dieser Methode hingewiesen (zitiert nach VAN SOEST and McQUEEN, 1973). Die stickstoffreien Extraktstoffe erscheinen in einer Vielzahl von Untersuchungen weniger verdaulich als die Rohfaserfraktion (CRAMPTON and MAYNARD, 1938). Durch die Rohfaserbestimmung werden nur 50 bis 80 % der Cellulose, 10 bis 50 % des Lignins und ca. 20 % der Hemicellulosen erfaßt (VAN SOEST and McQUEEN, 1973). MANGOLD (1934) bezeichnet die Rohfaser sehr deutlich als eine empirische Fraktion, die nur durch die analytische Methode ihrer Bestimmung definiert ist. Biochemische Methoden, die auf einer enzymatischen Verdauung beruhen, wurden zur Bestimmung der einzelnen Rohfaserkomponenten oder zur Bestimmung des "unverdau-

lichen Rests" entwickelt (WILLIAMS and OLMSTED, 1934; HELLENDOORN et al, 1975). Mit der Einführung von Detergentien in die Analyse der pflanzlichen Gerüstsubstanzen konnte VAN SOEST (1963a,b) zwei Fraktionen bestimmen: Mit der Methode der "Acid-Detergent Fiber" (ADF) hauptsächlich Cellulose und Lignin, mit der Methode der "Neutral-Detergent Fiber" (NDF) die Fraktion aller nur mikrobiell verdaulichen Gerüstsubstanzen. SOUTHGATE (1969a,b) entwickelte Methoden zur Bestimmung der gesamten "Dietary Fiber" und ihrer einzelnen Komponenten Cellulose, Lignin und Nicht-Cellulose-Polysaccharide" (Hemicellulosen). Auch HOFFMANN und NEHRING (1969) beschreiben Methoden zur Isolierung und anschließenden quantitativen Bestimmung der verschiedenen Inhaltsstoffe der Kohlenhydratfraktion von Futtermitteln. HENKEL und SCHULTZ (1980) entwickelten eine Methode zur Bestimmung zweier Ballastfraktionen, der nach einem enzymatischen Analysenverfahren berechneten Fraktion der "allein mikrobiell fermentierbaren Kohlenhydrate (AMFC)" und der analysierten Fraktion des "nicht fermentierbaren organischen Restes (NFOR)".

2.2.7. Weizenkleie als Rohfaserquelle

Weizenkleie ist ein Mühlen-Nachprodukt. Im Idealfall besteht sie aus allen Außenschichten des Weizenkorns bis einschließlich der Aleuronschicht. Ihr Rohfasergehalt beträgt 6.8 - 17.5 % (SAUNDERS, 1978), der Gehalt an gesamten Ballaststoffen wurde von HELLENDOORN et al. (1975) mit 56 % bestimmt. Die typische Zusammensetzung von

Weizenkleie wäre 21 % Cellulose, 20 - 26 % Hemicellulosen, 7.5 - 9 % Stärke, 5 % Zucker, 11 - 15 % Protein, 5 - 10 % Fett, 5 - 9 % Asche und 14 % Wasser (FRASER and HOLMES, 1959; CUMMINGS, 1976). Die jeweilige Zusammensetzung einer Weizenkleiensorte hängt mehr von der müllereitechnologischen Verarbeitung ab als von der verwendeten Weizensorte. Der hohe Gehalt an Ballaststoffen macht Weizenkleie zu einer idealen Rohfaserquelle, vor allem in der Humanernährung. Der therapeutische Einsatz von Weizenkleie bei Erkrankungen des unteren Verdauungstraktes ist beschrieben (PAINTER, 1972; PIEPMEYER, 1974).

2.2.8 Cellulose als Rohfaserquelle

Auf Grund der relativ geringen Celluloseverdaulichkeit bei Monogastriern wird hauptsächlich Cellulose als tatsächlicher Ballaststoff ("non-nutritive bulk") eingesetzt. Käufliche Ballastkomponenten für "semipurified diets" bestehen zumeist aus Cellulose-Produkten (LANG and BRIGGS, 1976). Auf die Unterschiede zwischen nativer Cellulose und zubereiteten Cellulosen wurde von VAN SOEST (1973) hingewiesen. Bei großtechnisch hergestellten Cellulosen kann die Partikelgröße unterschiedlich sein. Auch dies dürfte sich auf die diätetischen Eigenschaften auswirken.

2.3 Chitin

Chitin (JEUNIAUX, 1963; MUZZARELLI, 1977) besteht wie die Cellulose aus ß(1-4)-glykosidisch verknüpften Glucose-Molekülen, allerdings mit einer acetylierten Aminogruppe am C_2-Atom statt einer Hydroxylgruppe. Das Chitin ist also ein lineares Polymer aus N-Acetylglucosamin-Einheiten. Durch partielle Hydrolyse erhält man ein Disaccharid, die Chitobiose. Nach der Cellulose ist das Chitin die am meisten vorkommende organische Verbindung der Erde. Neben seiner Bedeutung als Bestandteil der Zellwand von Pilzen ist es im Tierreich als Außenskelettstrukturen bildende Substanz weit verbreitet.

RUDALL (1955) konnte durch radiologische Untersuchungen die Existenz zweier kristalliner Formen des Chitins nachweisen, wobei das α-Chitin die allgemein auftretende Form ist, so auch bei den Arthropoden (z.B. Insekten, Crustaceen), das ß-Chitin aber nur bei einigen Ausnahmen auftritt (Anneliden, Cephalopoden, Lingula).

JEUNIAUX (1963) unterscheidet zwischen zwei Chitin-Formen, einem freien Chitin ("chitine libre") und einem maskierten Chitin ("chitine masquée"), das in Komplexform mit anderen Substanzen, hauptsächlich Proteinen, vorliegt. Bei einer enzymatischen Bestimmung des Chitins muß das "maskierte" Chitin erst durch Behandlung mit 0.5 N NaOH bei 100° C freigelegt werden, um das Gesamt-Chitin ("chitine totale") bestimmen zu können. Als Chitosan bezeichnet man die durch Alkali-Behandlung deacetylierte Form des Chitins.

Die enzymatische Hydrolyse des Chitins erfolgt durch zwei Enzyme, die Chitinasen und die Chitobiasen. Chitinasen können alle Chitine (α -Chitin wie ß-Chitin), auch kleinere Polymere, bis zur Chitobiose spalten. Die Chitobiasen spalten Chitobiose und Chitotriose.

BERGER und WEISER (1957) konnten zeigen, daß auch das Lysozym des Eiklars Chitin hydrolysieren kann. JEUNIAUX (1963) konnte nachweisen, daß Cellulasen und Hyaluronidasen keine, Lysozyme dagegen eine geringe chitinolytische Aktivität zeigen.

Die Fähigkeit einer Vielzahl von Bakterienspezies, Chitin zu hydrolysieren, ist seit langem bekannt. Die Darstellung von Exochitinasen und die Messung deren chitinolytischer Aktivität konnte an "Streptomyces antibioticus" (JEUNIAUX, 1958) und "Streptomyces griseus" (BERGER and REYNOLDS, 1958) durchgeführt werden. Ebenso weiß man um die Existenz von Chitinasen bei Pilzen (SMITHIES, 1953; TRACEY, 1955).

Durch Studien am Regenwurm "Lumbricus terrestis" (DEVIGNE et JEUNIAUX, 1961) und an der Weinbergschnecke "Helix pomatia" (JEUNIAUX, 1963) konnte erstmals nachgewiesen werden, daß neben einer stark chitinolytischen Bakterienflora auch körpereigene Enzyme an der Spaltung des Chitins beteiligt sind. Das Studium von Chitinasen und Chitobiasen im Verdauungstrakt von Arthropoden zeigte, daß rein pflanzenfressende Spezies (z.B. Seidenspinner) keine chitinolytischen Enzyme besitzen, die Verdauungsdrüsen von fleisch- bzw. insektenfressenden Spezies (Skorpione, Krabben und Hummer, Libellen) dagegen einen hohen Gehalt an Chitinasen haben (JEUNIAUX, 1963).

Weitere Untersuchungen ergaben, daß bei den Fischen der Ort der Chitinasen-Sekretion hauptsächlich die Magenmukosa ist, bei Salamander, Frosch und Reptilien Magenmukosa und Pankreas (JEUNIAUX, 1963). Das pH-Optimum der Chitinasen bei Reptilien liegt bei pH 3.0. Im sauren Medium des Magensaftes können die Magenchitinasen Chitin bei ihrer maximalen Aktivität hydrolysieren (MICHA et al., 1973). Am Frosch ("Rana temporaria temp.") konnte DANDRIFOSSE (1975) Chitinasen aus Pankreas und Magenmukosa isolieren. Sie zeigten die Eigenschaft von Glykoproteinen.

Ein Vergleich von fünf Vogelspezies erbrachte, daß außer der körnerfressenden Taube alle Spezies chitinolytische Enzyme besitzen. Beim Vergleich verschiedener Säugetiere zeigte sich, daß insektivore Spezies, wie die Fledermaus, der Igel oder der Maulwurf, aber auch das omnivore Schwein, Chitinasen synthetisieren können. Frugivore oder herbivore Tiere wie Hase und Schaf, carnivore Tiere wie die Katze, und auch der Mensch, können keine chitinolytischen Enzyme synthetisieren. Außerdem können bei den Säugetieren, wie auch bei den anderen Vertebraten, nur kaum meßbare Aktivitäten von Chitobiasen festgestellt werden (JEUNIAUX, 1963).

CORNELIUS et al. (1975) berichten in ihrer Arbeit über sechs carnivore Säugetiere, daß in den Extrakten der Magenmukosa der zwei Spezies, die nicht an eine strenge Fleischnahrung adaptiert sind (Canidae: Hund und Fuchs) Chitinasen gefunden werden konnten, während solche mit ausschließlicher Fleischnahrung (Mustelidae: Hermelin, Frettchen, Marder; Felidae: Katzen) scheinbar keine Chitina-

sen produzieren. Auch diese Beobachtungen bestätigen die Korrelation zwischen der Ernährungsform einer Spezies und der Fähigkeit, Chitinasen im Verdauungssystem synthetisieren zu können.

An dem Halbaffen "Perodictius potto edwardsi" konnten BEERTON-JOLY et al. (1974) eine starke chitinolytische Aktivität in der Magenmukosa nachweisen. CORNELIUS et al. (1976) fanden in den Extrakten der Magenmukosa von "Perodictius potto" eine chitinolytische Aktivität, aber auch eine schwache lysozymatische Aktivität. Nach Reindarstellung der chitinolytischen Enzyme konnte keine lysozymatische Aktivität mehr festgestellt werden, aber eine hohe Aktivität bei nativem Chitin. Daraus wurde geschlossen, daß für die chitinolytische Aktivität, die bei einigen Vertebraten in Magenmukosa-Extrakten gefunden wurden, eher die Sekretion "echter" Chitinasen verantwortlich ist als eine chitinolytische Aktivität von Lysozymen.

KAY und SHEINE (1979) untersuchten in einem Experiment mit dem Halbaffen "Galago senegalensis" die Beziehung zwischen der Partikelgröße des Chitins und der Chitinverdaulichkeit. Bei einer Partikelgröße von 0.250 mm maximalen Durchmessers verdauten die Tiere 22.5 % des aufgenommenen Chitins, bei einer Partikelgröße von 0.325 - 0.425 mm nur 2.75 % des aufgenommenen Chitins.

In einem Fütterungsversuch an Ratten wurde die Eignung von Krillschalen als Futtermittel untersucht (KÜHL et al., 1978). Die Daten der N-Bilanz zeigen eine partielle Nutzung des Chitin-N im Proteinmetabolismus der Ratte. Erhöhungen des Caecumgewichts und mikroskopische Prüfung des Rattenkots sprechen für eine starke Mitwirkung von Darmbakterien am Chitinabbau.

Die Chitinverdaulichkeit und der nutritive Wert chitinhaltiger Futtermittel bei Wiederkäuern (PATTON and CHANDLER, 1975; PATTON et al., 1975) und bei Geflügel (POTTER and SHELTON, 1973) sind beschrieben. Die Verdaulichkeit des Chitins aus Krabbenmehl wurde bei Kälbern mit 66 % bestimmt (PATTON et al., 1975).

3. EIGENE UNTERSUCHUNGEN

3.1 Problemstellung

Will man Diäten für eine Tierart zusammenstellen, so ergeben sich bei der quantitativen und qualitativen Wahl der einzelnen Komponenten unter anderem die folgenden zwei Fragen: Wie hoch soll der Rohfasergehalt der Diät sein und welche Rohfaserquellen sollen eingesetzt werden? Die optimale Wahl des Rohfasergehalts und der Rohfaserquellen setzt aber ein Wissen über die physiologischen Wirkungen der einzelnen Rohfaserquellen in Beziehung zum Rohfasergehalt voraus. Bei nicht-menschlichen Primaten ist hierüber allerdings wenig bekannt. Der Vergleich mit anderen Monogastriern läßt zumindest die Vermutung zu, daß nicht-menschliche Primaten zu hohe Rohfasergehalte nicht gut vertragen, obwohl natürlich innerhalb der weitgefächerten Primatenordnung mit den unterschiedlichsten Ernährungsformen auch hier große Unterschiede zu erwarten sind.

Bei der Frage nach den günstigen Rohfaserquellen muß sich deren Wahl nach der verabreichten Diätform richten. Bei "natural ingredient diets", also Diäten aus natürlichen oder geringfügig veredelten Bestandteilen, können "natürliche", unbearbeitete Rohfaserquellen zum Einsatz kommen. Hier bieten sich Weizenkleie, Trockenschnitzel, Malzkeime, Haferschalen und Grünmehl an. In "halbsynthetischen" Mischungen ("semipurified diets") dienen dagegen hauptsächlich gereinigte Cellulosen in den verschiedensten Verarbeitungsformen als Rohfaserquelle. Auch Agar und Carrageen, die

zuweilen als stabilisierende Mittel in "halbsynthetische" Diäten eingebracht werden, sind zumindest als Ballaststoffquellen zu betrachten. Aus der Vielzahl der eingesetzten Rohfaserquellen, den "natürlichen" Rohfaserquellen, die neben nativer Cellulose noch andere, teils unverdauliche Ballaststoffe in die Diät einbringen, und andererseits den gereinigten, durch die Verarbeitung ihrer natürlichen Struktur und somit einiger Ballaststoffwirkungen beraubten Cellulosen, wird deutlich, daß der Rohfasergehalt einer Diät immer im Zusammenhang mit der entsprechenden Rohfaserquelle zu sehen ist.

Diese Problematik verdichtet sich noch durch die Schwäche des Begriffs "Rohfaser", der ja über den tatsächlichen Gehalt an Ballaststoffen keine direkten Angaben machen kann. Es ist zu betonen, daß neben den unterschiedlichen Wirkungen der verschiedenen Rohfaserquellen eben auch die Relation von ermittelten Rohfasergehalt und tatsächlichem Ballaststoffgehalt der einzelnen Rohfaserquellen bei der Betrachtung des Rohfasergehalts einer Diät von Bedeutung ist.

Bevor nun detailliertere Untersuchungen der einzelnen Rohfaserquellen angestellt werden, z.B. bezüglich der Rohfaserverdaulichkeit bei der untersuchten Tierart, muß zuerst einmal geprüft werden, inwieweit die einzelnen Rohfaserquellen in der Diät akzeptiert werden, ob sie auch in höheren Konzentrationen verträglich sind und ob die entsprechenden Mischungen auch bei einem höheren Rohfasergehalt überhaupt noch pelletierbar sind.

Sind dann nach solchen Kriterien geeignete Rohfaserquellen für die untersuchte Tierart ermittelt worden, so kann die Prüfung der Wirkungen der einzelnen Rohfaserquellen in Abhängigkeit von ver-

schiedenen Rohfaserkonzentrationen erfolgen. Hier interessiert vor allem die Rohfaserverdaulichkeit und deren Abhängigkeit vom Rohfasergehalt. Aber auch der Einfluß der einzelnen Rohfaserquellen auf die Verdaulichkeit von Trockensubstanz und Energie bei steigendem Rohfasergehalt in der Diät sind zu prüfen. Der Einfluß verschiedener Rohfaserquellen und unterschiedlicher Rohfasergehalte auf die Passagezeit ist gerade in Hinsicht auf mögliche klinische Wirkungen, aber auch auf eine mögliche Verdaulichskeitsdepression wichtiger Nährstoffe von entscheidender Bedeutung.

In der vorliegenden Arbeit sollten nach den obengenannten Kriterien verschiedene Rohfaserquellen bei unterschiedlichen Rohfaserkonzentrationen in der Diät untersucht werden. Dadurch sollte eine Aussage über den für diese Tierart günstigen Rohfasergehalt in der Diät und über die Wirkung der eingesetzten Rohfaserquellen gegeben werden können.

Ein Nebenaspekt dieser Arbeit sollte die Verdaulichkeit des Chitins und sein Einfluß auf die Verdaulichkeit von Trockensubstanz und Energie sein. In Anbetracht der Tatsache, daß Krallenaffen auch Insektenfresser sind und daß in den letzten Jahren in Extrakten der Magenmukosa verschiedenster insektivorer oder omnivorer Vertebraten chitinolytische Aktivitäten gefunden wurden, könnte bei Krallenaffen eine Verdauung des Chitins durch körpereigene Enzyme möglich sein. Ein mikrobieller Abbau des Chitins ist auch bei Krallenaffen auf jeden Fall zu erwarten.

Im Rahmen dieser Arbeit sollte das Chitin nur nach denselben Kriterien wie die anderen Rohfaserquellen untersucht werden, wobei es mittels der Rohfaseranalyse als "Rohfaser" bestimmt wurde und auch in denselben rohfaseräquivalenten Konzentrationen zum Einsatz kam. Die Bestimmung des Chitingehalts mittels der Rohfaseranalyse wurde von BLACK und SCHWARTZ (1950) als verläßlich angesehen.

3.2. Material und Methoden

3.2.1 Versuchplanung und Versuchsdurchführung

In einem Vorversuch sollten sechs verschiedene Rohfaserquellen auf ihre Eignung als Rohfaserquellen für die anschließenden Hauptversuche geprüft werden. Kriterien hierfür sollten Verträglichkeit, Akzeptanz und technische Verarbeitbarkeit (Pelletierbarkeit) bei einer für Krallenaffen erfahrungsgemäß relativ hohen, 6 %-igen Gesamtrohfaserkonzentration in der Diät sein.

In den vier Hauptversuchen sollten nun an vier Rohfaserquellen in jeweils 2, 4 und 6 %-iger Gesamtrohfaserkonzentration in der Diät die Verdaulichkeit von Trockensubstanz, Rohfaser und Energie, die tägliche Pelletaufnahme und die Veränderung des Körpergewichts bestimmt werden. Für zwei Rohfaserquellen sollte der Einfluß verschiedener Rohfaserkonzentrationen auf die Passagezeit untersucht werden.

Die Versuchsdiäten bestanden zu jeweils 70 % aus einer rohfaserarmen, ansonsten in der Zusammensetzung der den Versuchstieren außerhalb der Versuchszeiten verfütterten Koloniediät ähnlichen Basisdiät. Die restlichen 30 % standen für die jeweilige Rohfaserquelle zur Verfügung; mit Maisstärke wurde auf 100 % aufgefüllt. Da zum einen der für Krallenaffen günstige Rohfasergehalt in einem nicht zu hohen Bereich zu erwarten war, zum anderen nur ein begrenzter Prozentsatz der Versuchsdiäten für den variablen Einsatz der verschiedenen Rohfaserquellen dienen konnte, lag das Maximum des Rohfasergehalts der Versuchsdiäten bei jeweils nur 6 %. Jeweils

1.5 % des Gesamtrohfasergehalts der Versuchsdiäten stammte aus der Basisdiät. Die Grundzusammensetzung der Versuchsdiäten ist in Tabelle 2 wiedergegeben. Alle Versuchsdiäten wurden in pelletierter Form mit einem Durchmesser von 5 mm angeboten.

Die Versuchsdauer des Vorversuchs und der Hauptversuche betrug jeweils zwei Wochen. Pellets und Wasser aus Nippeltränken standen den Tieren ad libitum zur Verfügung. Da die Tiere außerhalb der Versuchszeiten neben der pelletierten Koloniediät eine tägliche Bananen-Zulage erhalten, sollte auch während der Versuche auf eine Zufütterung von Bananen nicht verzichtet werden. Dabei wurden in der ersten Versuchswoche 20 g Banane pro Tier und Tag, in der zweiten Versuchswoche 10 g Banane pro Tier und Tag zur Versuchsdiät gegeben. Bei den Verdaulichkeitsberechnungen wurde davon ausgegangen, daß die Banane immer vollständig verzehrt wurde.

Der Pelletverzehr/Tier und Tag errechnete sich aus der Differenz von Futtereinwaage und nicht verzehrten bzw. verschmissenen Pellets. Das Futter wurde vor dem Austeilen eingewogen, der nicht verzehrte Rest am nächsten Tag zurückgewogen. Verschmissene Pellets wurden aufgefangen und konnten dann eingesammelt, wenn nötig luftgetrocknet und gewogen werden. Bei Paaren wurde der ermittelte Wert entsprechend halbiert.

Der tägliche Pelletverzehr in Prozent des Körpergewichts errechnete sich aus den ermittelten Werten des Pelletverzehrs/Tier und Tag prozentual bezogen auf das Körpergewicht zu Beginn der Versuche.

Tabelle 2: Grundzusammensetzung der Versuchsdiäten

Sojaschrot	5.0
Haferflocken	15.0
Sojaproteinkonzentrat*	10.0
Molkenprotein	6.0
Casein	4.0
Saccharose	15.0
Fettkonzentrat**	6.0
Bananenfruchtaroma	1.5
Bierhefe	2.0
Sojaöl	2.0
$CaHPO_4 \times 2H_2O$	1.0
$CaCO_3$	0.5
NaCl	0.2
Vitaminvormischung[1)]	0.6
Vitamin C	0.1
Spurenelementvormischung[2)]	0.1
Ca-Propionat	0.2
Chromoxid	0.5
DL-Methionin	0.3
	70.0 %
Rohfaserquelle + Maisstärke	30.0 %
	100.0 %

* Danpro (Aarhus Olie Fabrik)

** 40 % Fett auf Magermilchbasis

Fortsetzung Tabelle 2:

[1] Die Vitaminvormischung (auf Sojafeinmehl) enthält in 6 g (= pro kg der fertigen Mischung):

Retinol (30.000 IE Vitamin A)	9.0 mg
Cholecalciferol (2640 IE Vit. D_3)	66 mcg
-DL-Tocopherolacetat	72 mcg
Menadion	2.4 mg
Thiamin	10.8 mg
Riboflavin	14.4 mg
Pyridoxin	6.0 mg
Cobalamin	60 mcg
Biotin	180 mcg
Folsäure	360 mcg
Ca-Pantothenat	36 mg
Nicotinsäure	108 mg
Cholin	900 mg
Ascorbinsäure	1180 mg

[2] Die Spurenelementvormischung (auf Maisstärke) enthält in 1 g (= pro kg der fertigen Mischung):

Fe (aus Eisenfumarat)	100 mg
Zn (aus Zinkacetat x $2H_2O$)	80 mg
Mn (aus Mangansulfat x H_2O)	80 mg
Cu (aus Kupferacetat x H_2O)	12 mg
J (aus Kaliumjodid)	2.5 mg
Co (aus Kobaltsulfat x $7H_2O$)	1 mg
Se (aus Natriumselenit x $5H_2O$)	0.5 mg
F (aus Natriumfluorid)	5 mg
Mg (aus Magnesiumoxid)	70 mg

Die Veränderungen des Körpergewichts in Prozent wurden aus der Differenz von Versuchsend- und Versuchsanfangsgewicht prozentual bezogen auf das Versuchsanfangsgewicht berechnet. Hierbei wurden die Tiere am ersten und am letzten Versuchstag jeweils zur gleichen Tageszeit gewogen.

Kot wurde ab dem dritten Versuchstag jeweils zu den gleichen Tageszeiten zweimal am Tag gesammelt und in Tiefkühlbeuteln auf -20°C eingefroren. Hierbei wurde darauf geachtet, nur Kot zu sammeln, der nicht durch Urin oder Haare verunreinigt war.

Die Verdaulichkeitsuntersuchungen wurden nach der Chromoxid-Indikatormethode durchgeführt. Der Chromoxidgehalt lag in allen Versuchsdiäten bei 0.5 %. Gegenüber der klassischen Kotsammelmethode hat die Indikatormethode den Vorteil, daß sie zuverlässigere Werte ergibt, da die methodischen Fehler bei der Feststellung des Futterverzehrs und bei der zumindest bei der untersuchten Tierart praktisch fast unmöglichen quantitativen Kotsammlung entfallen.

Da auf die tägliche Bananen-Zulage nicht verzichtet werden sollte, mußte der tägliche Bananen-Verzehr natürlich in die Verdaulichkeitsberechnungen eingehen, da Rohfasergehalt, Chromoxidgehalt und Bruttoenergie durch die zusätzliche Aufnahme von Banane gesenkt wurden. Hierbei wurde über den mittleren Pelletverzehr pro Tier und den mittleren Bananen-Verzehr pro Tier der tatsächliche Rohfaser-, bzw. Chromoxidgehalt und die Bruttoenergie der gesamten Diät (Versuchsdiät + Banane) pro Versuchseinheit (= ein Käfig mit einem oder zwei Tieren) ermittelt. Die hierfür nötigen analytischen Werte

von Banane wurden ermittelt und lagen für Trockensubstanz, Rohfasergehalt und Bruttoenergie bei 25.0 %, 0.7 % und 4.1 kcal/g TS. Der Rohfasergehalt und die Bruttoenergie der Versuchsdiäten wurden auf Grund des geringen Trockensubstanzgehalts der Banane jedoch nur geringfügig gesenkt. Bei den Beschreibungen der Versuchsergebnisse soll deshalb an den Bezeichnungen der Rohfasergehalte von 2, 4 und 6 % festgehalten werden.

Bei der Ermittlung der Passagezeit diente ebenfalls Chromoxid als Indikator. Hierbei wurden den Tieren bei der morgendlichen Fütterung genau eine Stunde lang die chromoxidhaltigen Versuchsdiäten angeboten; danach wurden diese wieder gegen die übliche Koloniediät ausgetauscht. Ab der vierten Stunde nach der Fütterung wurde alle zwei Stunden Kot gesammelt. Der Kot der einzelnen Versuchsgruppen wurde zu gleichen Anteilen "gepoolt" und sein Chromoxidgehalt bestimmt. Das jeweilige Maximum des Chromoxidgehalts soll die Passagezeit charakterisieren.

3.2.2. Tiermaterial und Tierhaltung

Der Vorversuch und die Hauptversuche wurden an den Spezies Callithrix jacchus und Saguinus fuscicollis durchgeführt. Die Passagezeit wurde nur bei Saguinus fuscicollis ermittelt. Da die Tiere einer Zuchtkolonie angehören, befanden sich in der Regel zwei Tiere in einem Käfig. Im folgenden entspricht ein Käfig einer "Versuchseinheit".

Die C. jacchus-Tiere waren alle in Gefangenschaft geboren. Ihr Alter lag zwischen eineinhalb und fünf Jahren, ihre Gewichte zwischen 220 und 450 Gramm. Die S. fuscicollis-Tiere waren ausnahmslos Wildfänge, die aber auch schon länger pelletierte Diäten und Laboratoriumshaltung gewohnt waren. Da eine Altersbestimmung bei ausgewachsenen Tieren nicht möglich ist,liegen hier keine Altersangaben vor. Die Gewichte lagen bei diesen von Natur aus größeren Tieren bei 380 bis 540 Gramm. Paare mit Jungtieren, trächtige Tiere und Tiere in schlechtem Allgemeinzustand wurden für die Versuche nicht ausgewählt. Auf Grund der geringen zur Verfügung stehenden Tierzahl konnte eine Einteilung nach Alters- und Gewichtsklassen nicht vorgenommen werden; das Tiermaterial ist somit nicht als homogen zu betrachten.

Die Tiere werden, nach Spezies getrennt, in Räumen mit 23 bis 26°C Raumtemperatur und einer relativen Luftfeuchtigkeit von ca. 60 % gehalten. Die künstliche Beleuchtung erfolgte in einem 12-Stundentakt (6.00 - 18.00 Uhr).

3.2.3. Analytische Methoden

Rohfaserbestimmung

Die Bestimmung der Rohfaser wurde im Prinzip nach der klassischen Weender-Methode durchgeführt. Zur schnellen Filtration wurde Asbest als Hilfsmittel benutzt:

2 g Analysenmaterial wurden eingewogen und mit 1 g vorbereiteten Asbest in ein 600 ml Becherglas gegeben. Nach Zugabe von 125 ml 5 %-iger Schwefelsäure und 75 ml Aqua dest. wurde genau 10 Minuten gekocht. Nach Ablauf der Kochzeit wurde durch einen mit 3 g aufgeschwemmten Asbest präparierten Filter filtriert. Der Rückstand wurde dann bis zur neutralen Reaktion mit heißem Wasser gewaschen. Das ausgewaschene Material wurde in das Becherglas zurückgegeben und mit 125 ml 5 %-iger Kalilauge und 75 ml Aqua dest. versetzt. Unter Zusatz eines Antischaummittels wurde wieder genau 10 Minuten gekocht und anschließend durch einen mit 2 g Asbest präparierten Filter filtriert. Der Rückstand wurde bis zur neutralen Reaktion der letzten Waschflüssigkeit mit heißem Wasser und danach mit insgesamt etwa 100 ml Aceton gewaschen.
Anschließend wurde der Rückstand quantitativ in eine Veraschungsschale überführt und im Trockenschrank bei 105°C bis zur Gewichtskonstanz getrocknet. Nach Abkühlen im Exsikkator wurde gewogen und dann im Muffelofen bei 600°C 24 Stunden geglüht. Nach dem Abkühlen im Exsikkator wurde wieder gewogen.
Nach demselben Verfahren, aber ohne Analysenprobe, wurde ein Blindversuch mit behandeltem Asbest durchgeführt.

Der Gehalt an Rohfaser in Prozenten der Probe ergibt sich aus folgender Formel:

$$\frac{(a - b) \times 100}{2}$$

a = Glühverlust beim Hauptversuch
b = Glühverlust beim Blindversuch.

Chromoxidbestimmung

Der Gehalt an Chromoxid in Futter und Kot wurde nach der von PETRY und RAPP (1971) beschriebenen Methode bestimmt:

Das Untersuchungsmaterial wird durch anorganische Säuren naß verascht und gleichzeitig die Oxidation des dreiwertigen Chromoxids zum sechswertigen, gut wasserlöslichen Chromat mittels Perchlorsäure durchgeführt. In der durch Zugabe von Natronlauge stark alkalischen Lösung liegt nur noch Monochromat vor, das bei 366 nm photometrisch bestimmt wird.

PETRY und RAPP (1971) machten darauf aufmerksam, daß das Lambert-Beer'sche Gesetz nur bei Messungen des Monochromats bei 370 nm im alkalischen Milieu Gültigkeit besitzen kann, da alkalisierte Chromatlösungen nur noch Monochromat enthalten, dessen Absorptionskurve im nahen UV ein Maximum bei 372 nm erreicht. Die sonst übliche photometrische Bestimmung des Chromations durch Extinktionsmessung saurer Chromatlösungen bei 440 nm kann keine zuverlässigen Meßergebnisse erwarten lassen, da in sauren Lösungen neben Dichromat auch saures Monochromat oder Polychromate enthalten sind.

Kalorimetrie

Der Energiegehalt der Futter- und Kotproben wurde mit Hilfe eines adiabatischen Bombenkalorimeters bestimmt. Hierfür wurden die Proben im Trockenschrank bei 105°C bis auf Gewichtskonstanz getrocknet.

3.2.4 Statistik

Auf Grund der geringen Anzahl der Versuchstiere und ihrer Inhomogenität wurde eine statistische Auswertung der Ergebnisse nicht durchgeführt. Alle von den einzelnen Tieren bzw. Versuchseinheiten ermittelten Ergebnisse werden als Mittelwert angegeben.

3.3. Versuchsergebnisse

3.3.1 Vorversuch

Sechs verschiedene Rohfaserquellen wurden auf ihre Eignung als Rohfaserquellen für die Hauptversuche nach den Kriterien Akzeptanz, Verträglichkeit und Pelletierbarkeit der entsprechenden Mischungen untersucht. Der Gesamtrohfasergehalt der Versuchsdiäten lag bei 6 %, wovon jeweils 1.5 % aus der Basisdiät stammten. Grünmehl, Trockenschnitzel, Malzkeime, Weizenkleie, "grobe" Cellulose und Garnelenmehl wurden für diesen Versuch als Rohfaserquellen ausgewählt. Um ein Infektionsrisiko zu vermeiden, wurde eine im Handel befindliche gereinigte, fermentierte, hygienisch einwandfreie Weizen-Diätkleie gewählt.

"Grobe" Cellulose wurde aus üblichem Laborzellstoff hergestellt, der angefeuchtet, dann tiefgefroren und im angetauten Zustand mit einem Tisch-Zerkleinerungsgerät auf eine Flockengröße von 1 bis 3 Millimeter gebracht wurde. Das Garnelenmehl wurde aus hygienischen Gründen drei Tage einer Hitze von 85°C ausgesetzt.

Die analytisch bestimmten Rohfasergehalte der einzelnen Rohfaserquellen und die Zusammensetzung der Versuchsdiäten sind in Tabelle 3 wiedergegeben. Ermittelt wurden die tägliche Pelletaufnahme, die Veränderungen des Körpergewichts und der Wassergehalt des Kotes. Jeweils drei Versuchseinheiten wurden pro Versuchsgruppe eingesetzt.

Tabelle 3: Zusammensetzung der Versuchsdiäten und Rohfasergehalt der Rohfaserquellen des Vorversuchs

Rohfaserquelle	Grünmehl	Trockenschnitzel	Malzkeime	Weizenkleie	"grobe"Cellulose	Garnelenmehl
Rohfasergehalt in %	29.3	15.4	16.9	16.9	89.6	18.0
Komponenten in %						
Basisdiät	70.0	70.0	70.0	70.0	70.0	70.0
Rohfaserquelle	15.4	29.2	26.6	26.6	5.0	25.0
Stärke	14.6	0.8	3.4	3.4	25.0	5.0
Rohfasergehalt der Versuchsdiäten (Analysenwert)in %	5.9	5.8	5.9	6.0	6.0	5.8

Der Einfluß dieser Rohfaserquellen auf die tägliche Pelletaufnahme, auf den Wassergehalt des Kotes und die Veränderungen des Körpergewichts sind in Tabelle 4 aufgeführt. Auf Grund entweder schlechten Verzehrs, hoher Gewichtsabnahmen oder hoher Wassergehalte im Kot sollten die Rohfaserquellen Grünmehl, Trockenschnitzel und Malzkeime für die weiteren Versuche entfallen. Die hohen Wassergehalte des Kotes bei diesen Rohfaserquellen folgen aus häufig beobachteten Durchfällen bei den entsprechenden Versuchsgruppen während der Versuchsdauer. Auf das Garnelenmehl sollte wegen des besonderen Interesses an der Verdaulichkeit des Chitins trotz seines schlechten Abschneidens im Vorversuch für einen Hauptversuch nicht verzichtet werden.

Aus dem Vorversuch wurden daher für die Hauptversuche die folgenden Rohfaserquellen ausgewählt:

- Weizenkleie
- "Grobe" Cellulose
- Garnelenmehl

Eine im Vorversuch nicht geprüfte Mikro-Cellulose, die aus fein zermahlenem Zellstoff besteht, sollte wegen des Interesses am Vergleich zweier unterschiedlicher Cellulosen und wegen ihres häufigen Einsatzes in "halbsynthetischen" Diäten ebenfalls in einem Hauptversuch als Rohfaserquelle getestet werden.

Alle Mischungen konnten nach entsprechender Wasserzugabe vor dem Pelletiervorgang zufriedenstellend pelletiert werden.

Tabelle 4: Einfluß verschiedener Rohfaserquellen auf die tägliche Pelletaufnahme, die Körpergewichtsveränderungen und den Wassergehalt des Kotes bei 6 % Gesamtrohfasergehalt in der Diät

Rohfaserquelle	Pelletaufnahme in g/Tag	Pelletaufnahme in % des KG	Körpergewichts-änderungen in %	Wassergehalt des Kotes in %
Grünmehl	15	3.5	- 3	76
Trockenschnitzel	12	3.1	- 5	76
Malzkeime	11	2.6	- 2	72
Weizenkleie	16	3.4	- 2	68
"grobe" Cellulose	17	3.6	+ 2	69
Garnelenmehl	13	3.0	- 5	66

Tabelle 5: Zusammensetzung der Versuchsdiäten der Hauptversuche

	Versuch 1 "grobe" Cellulose			Versuch 2 Mikro-Cellulose			Versuch 3 Weizenkleie			Versuch 4 Garnelenmehl		
Rohfasergehalt	2 %	4 %	6 %	2 %	4 %	6 %	2 %	4 %	6 %	2 %	4 %	6 %
Komponenten in %												
Basisdiät	70.0	70.0	70.0	70.0	70.0	70.0	70.0	70.0	70.0	70.0	70.0	70.0
Rohfaserquelle	0.6	2.8	5.0	0.6	3.1	5.5	3.0	14.8	26.6	2.8	13.9	25.0
Stärke	29.4	27.2	25.0	29.4	26.9	24.5	27.0	15.2	3.4	27.2	16.1	5.0

3.3.2. Hauptversuch I. Rohfaserquelle "grobe" Cellulose

Die hier eingesetzte Cellulose wurde durch die Rohfaseranalyse zu dem hohen Prozentsatz von 89.6 % als Rohfaser erfaßt. Sie wurde aus Laborzellstoff hergestellt (siehe 3.3.1.) und besaß eine Flockengröße von ca. 1 - 3 mm. In Tabelle 5 ist die Zusammensetzung der Versuchsdiäten aufgeführt.

Einfluß auf den Pelletverzehr und die Änderungen des Körpergewichts

Ein Einfluß des Rohfasergehaltes auf den täglichen Pelletverzehr läßt sich aus den ermittelten Ergebnissen nicht ersehen. Die Gewichte zeigen deutliche Abnahmen bei steigendem Rohfasergehalt (Tabelle 6).

Einfluß auf die Verdaulichkeit der Rohfaser

Die Rohfaserverdaulichkeit der Diät mit 2 % Rohfaser lag bei 34 bzw. 24 %. Da 1.5 % des Rohfasergehalts aus der Basisdiät stammten, dürften diese Werte in etwa die Verdaulichkeit der Basisdiät repräsentieren. Bei steigendem Rohfasergehalt sank die Rohfaserverdaulichkeit bis auf 13 bzw. 11 %.

Einfluß auf die Verdaulichkeit der Trockensubstanz

Die Verdaulichkeit der Trockensubstanz sank bei steigendem Rohfasergehalt in dem relativ engen Bereich von 87 bzw. 85 % auf 81 bzw. 82 %.

Einfluß auf die Verdaulichkeit der Energie

Die Bruttoenergie der Versuchsdiäten lag bei 4.57, 4.58 und 4.59 kcal/g TS, entsprechend 2, 4 und 6 % Rohfasergehalt. Nach Einbeziehung des Bananen-Verzehrs betrug die Bruttoenergie der gesamten

Tabelle 6: Einfluß auf den Pelletverzehr und die Änderungen des Körpergewichts

Gesamtrohfasergehalt	Spezies*	2 %	4 %	6 %
Pelletverzehr in % des KG	C	4.9	3.9	5.5
	S	3.4	3.9	3.1
Pelletverzehr in g/Tier/Tag	C	15	14	14
	S	15	16	14
Gewichtsänderungen in %	C	+4.1	+2.0	+0.5
	S	-0.2	-0.5	-1.1

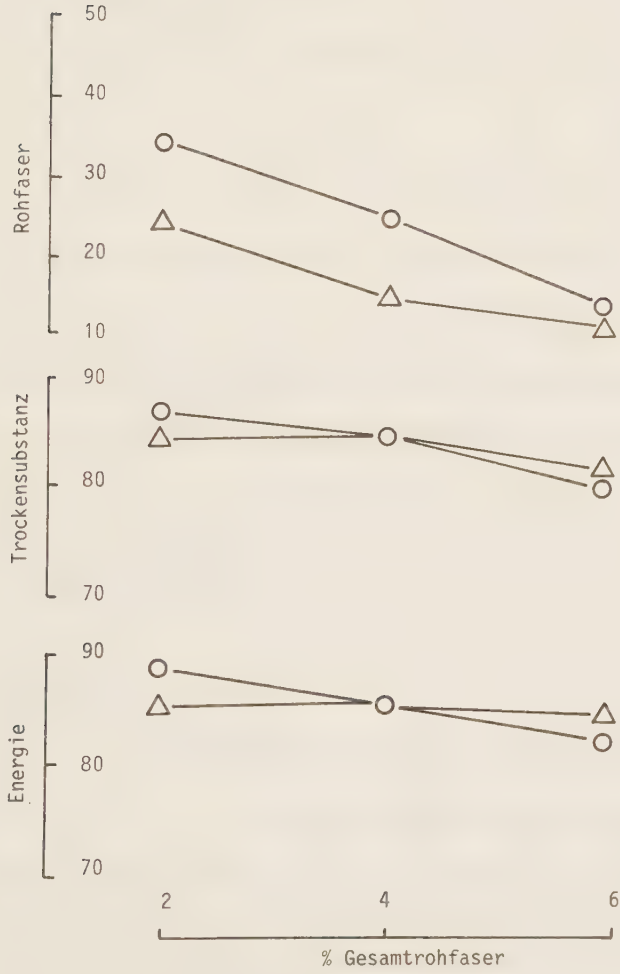
Tabelle 7: Verdaulichkeitskoeffizienten bei Rohfaserquelle "grobe" Cellulose

Gesamtrohfasergehalt	Spezies*	2 %	4 %	6 %
Rohfaser	C	0.34	0.24	0.13
	S	0.24	0.14	0.11
Trockensubstanz	C	0.87	0.85	0.81
	S	0.85	0.85	0.82
Energie	C	0.89	0.86	0.82
	S	0.86	0.86	0.84

* C = Callithrix jacchus (n** = 3);
S = Saguinus fuscicollis (n** = 4);
** n = Zahl der Versuchseinheiten

Abbildung 1: Einfluß von "grober" Cellulose auf die Verdaulichkeit von Rohfaser, Trockensubstanz und Energie

(○ = Callithrix jacchus; △ = Saguinus fuscicollis)



Diät für beide Spezies bei der 2 %-igen Diät 4.49 kcal/g TS, bei den 4 %-igen und 6 %-igen Diäten jeweils 4.50 kcal/g TS. Die Verdaulichkeit der Energie sank bei steigendem Rohfasergehalt von 89 bzw. 86 % auf 82 bzw. 84 %.

Die Verdaulichkeitskoeffizienten dieses Versuchs sind in Tabelle 7 aufgeführt. In Abbildung 1 ist der Einfluß "grober" Cellulose auf die Verdaulichkeit von Rohfaser, Trockensubstanz und Energie graphisch dargestellt.

3.3.3. Hauptversuch II. Rohfaserquelle Mikro-Cellulose

Die hier eingesetzte Cellulose ist ein handelsübliches Produkt, das aus sehr fein zermahlenem Zellstoff hergestellt wird. Der Rohfasergehalt wurde mit 81.2 % bestimmt. Der geringere Rohfasergehalt der Mikro-Cellulose gegenüber der "groben" Cellulose ist wohl auf die weitaus geringere Partikelgröße zurückzuführen, die den Reagentien der Rohfaseranalyse eine größere Angriffsfläche bietet. In Tabelle 5 ist die Zusammensetzung der Versuchsdiäten aufgeführt.

Einfluß auf den Pelletverzehr und die Änderung des Körpergewichts

Sowohl der tägliche Pelletverzehr als auch die Gewichtszunahmen haben ihr Maximum bei der 4 %-igen Diät. Bei der 6 %-igen Diät zeigen beide Spezies Gewichtsabnahmen (Tabelle 8).

Einfluß auf die Verdaulichkeit der Rohfaser

Die Rohfaserverdaulichkeit lag bei der 2 %-igen Diät in einem ähnlichen Bereich wie im Hauptversuch I. Die Verdaulichkeitswerte betrugen 27 bzw. 47 %. Bei steigendem Rohfasergehalt fiel auch hier

Tabelle 8: Einfluß auf den Pelletverzehr und die Änderung des Körpergewichts

Gesamtrohfasergehalt	Spezies*	2 %	4 %	6 %
Pelletverzehr in % des KG	C	3.6	4.4	3.8
	S	3.6	3.9	3.6
Pelletverzehr in g/Tier/Tag	C	12	18	11
	S	14	18	16
Gewichtsänderungen in %	C	±0	+1.4	-2.0
	S	+0.7	+3.0	-0.7

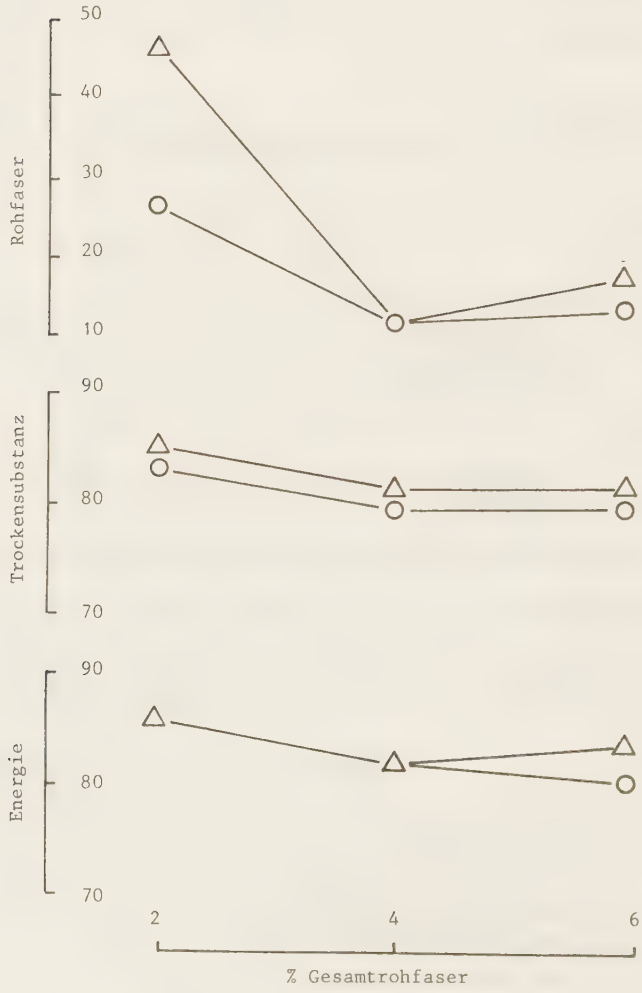
Tabelle 9: Verdaulichkeitskoeffizienten bei Rohfaserquelle Mikro-Cellulose

Gesamtrohfasergehalt	Spezies*	2 %	4 %	6 %
Rohfaser	C	0.27	0.12	0.13
	S	0.47	0.12	0.17
Trockensubstanz	C	0.84	0.80	0.80
	S	0.85	0.81	0.81
Energie	C	0.86	0.82	0.81
	S	0.86	0.82	0.83

* C = Callithrix jacchus (n** = 2);
S = Saguiunus fuscicollis (n** = 3);
** n = Zahl der Versuchseinheiten

Abbildung 2: Einfluß von Mikro-Cellulose auf die Verdaulichkeit von Rohfaser, Trockensubstanz und Energie

(○ = Callithrix jacchus; △ = Saguinus fuscicollis)



die Rohfaserverdaulichkeit, mit einem Minimum bei der 4 %-igen Diät von jeweils 12 %, um dann bei der 6 %-igen Diät leicht auf 13 bzw. 17 % anzusteigen.

Einfluß auf die Verdaulichkeit der Trockensubstanz

Die Verdaulichkeit der Trockensubstanz sank bei steigendem Rohfasergehalt von 84 bzw. 85 % auf 80 bzw. 81 %.

Einfluß auf die Verdaulichkeit der Energie

Die Bruttoenergie der Versuchsdiäten lag bei 4.62, 4.62 und 4.61 kcal/G TS, entsprechend 2, 4 und 6 % Rohfasergehalt. Nach Einbeziehung des Bananen-Verzehrs betrug die Bruttoenergie der gesamten Diät für C.jacchus 4.51, 4.54 und 4.49 kcal/g TS, für S.fuscicollis 4.52, 4.54 und 4.52 kcal/g TS, jeweils entsprechend 2, 4 und 6 % Rohfasergehalt. Die Verdaulichkeit der Energie sank bei steigendem Rohfasergehalt von jeweils 86 % auf 81 bzw. 83 %.

Die Verdaulichkeitskoeffizienten dieses Versuchs sind in Tabelle 9 aufgeführt. In Abbildung 2 ist der Einfluß von Mikro-Cellulose auf die Verdaulichkeit von Rohfaser, Trockensubstanz und Energie graphisch dargestellt.

3.3.4. Hauptversuch III. Rohfaserquelle Weizenkleie

Weizenkleie ist ihrem Wesen nach eine ganz andere Rohfaserquelle als die beiden in den vorigen Versuchen untersuchten Cellulosen. Neben Cellulose enthält sie noch einen hohen Prozentsatz an Hemicellulosen. Durch die Rohfaserbestimmung wird hauptsächlich die Cellulose und nur ein geringer Teil der Hemicellulosen erfaßt. Der

Tabelle 10: Einfluß auf den Pelletverzehr und die Änderung des Körpergewichts

Gesamtrohfasergehalt	Spezies*	2 %	4 %	6 %
Pelletverzehr in % des KG	C	4.1	4.6	4.7
	S	3.9	3.2	3.2
Pelletverzehr in g/Tier/Tag	C	13	16	15
	S	16	13	14
Gewichtsänderungen in %	C	+2.6	-0.3	+1.7
	S	+2.0	-3.1	-3.0

Tabelle 11: Verdaulichkeitskoeffizienten bei Rohfaserguelle Weizenkleie

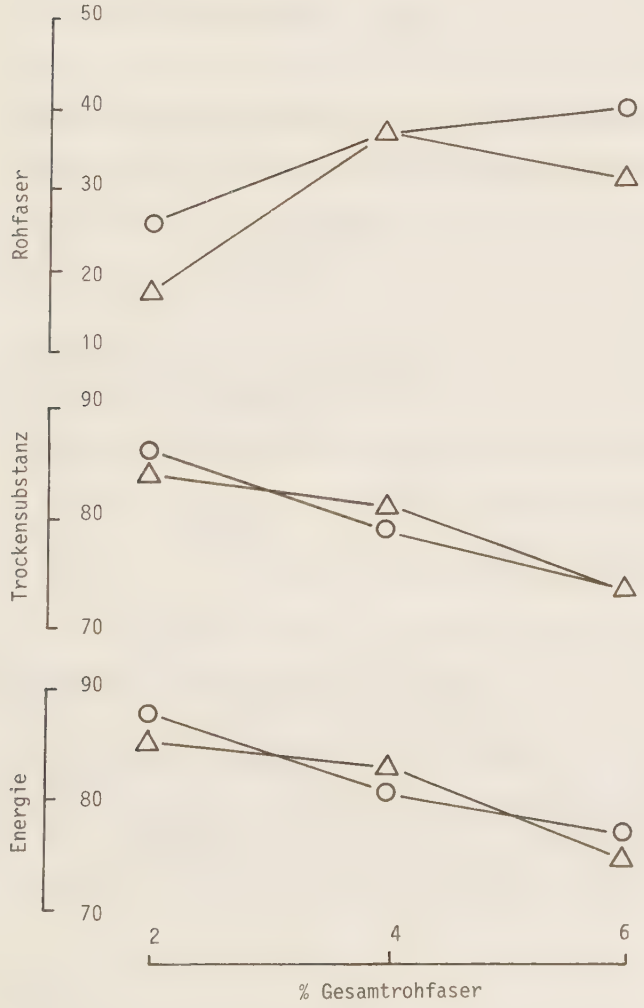
Gesamtrohfasergehalt	Spezies*	2 %	4 %	6 %
Rohfaser	C	0.26	0.38	0.40
	S	0.18	0.38	0.32
Trockensubstanz	C	0.86	0.80	0.74
	S	0.85	0.81	0.74
Energie	C	0.88	0.81	0.76
	S	0.86	0.82	0.75

* C = Callithrix jacchus (n** = 3);
S = Saguinus fuscicollis (n** = 4);

** n = Zahl der Versuchseinheiten

Abbildung 3: Einfluß von Weizenkleie auf die Verdaulichkeit von Rohfaser, Trockensubstanz und Energie

(○ = Callithrix jacchus; △ = Saguinus fuscicollis)



ermittelte Rohfasergehalt betrug 16,9 %, der tatsächliche Gehalt an Ballaststoffen dürfte über 50 % liegen. Außerdem hat die in der Weizenkleie enthaltene Cellulose, die ja über die Rohfaseranalyse in diesem Versuch hauptsächlich erfaßt wird, als "native" Cellulose andere Eigenschaften als die gereinigten und zubereiteten Cellulosen der beiden vorigen Versuche. In Tabelle 5 ist die Zusammensetzung der Versuchsdiäten aufgeführt.

Einfluß auf den Pelletverzehr und die Änderung des Körpergewichts

Die Ermittlung des Pelletverzehrs zeigte sehr unterschiedliche Ergebnisse und ließ keinen Zusammenhang mit dem Rohfasergehalt sehen. Beide Spezies zeigten bei steigendem Rohfasergehalt Gewichtsabnahmen (Tabelle 10).

Die grobsinnliche Kotbeurteilung ergab eine deutliche Vergrößerung des Kotvolumens auf das ca. Dreifache bei der 6 %-igen Diät. Der Kot war bei beiden Spezies, auch bei der Diät mit 6 % Rohfaser, geformt und von lockerer Konsistenz.

Einfluß auf die Verdaulichkeit der Rohfaser

Die Rohfaserverdaulichkeit der 2 %-igen Diät lag bei 26 bzw. 18 %. Im Gegensatz zu den Versuchen mit Cellulosen als Rohfaserquelle sank hier die Rohfaserverdaulichkeit bei steigendem Rohfasergehalt nicht, sondern erreichte bei der 4 %-igen Diät einen Wert von jeweils 38 %, um dann bei der 6 %-igen Diät bei C.jacchus noch auf 40 % anzusteigen. Bei S.fuscicollis sank sie hier wieder auf 32 %.

Einfluß auf die Verdaulichkeit der Trockensubstanz

Die Verdaulichkeit der Trockensubstanz sank auch hier bei steigendem Rohfasergehalt, jedoch in einem viel stärkerem Maß als bei den beiden vorigen Versuchen. Trotz der hohen Rohfaserverdaulichkeit wurden hier bei der 6 %-igen Diät Werte von jeweils 74 % erreicht.

Einfluß auf die Verdaulichkeit der Energie

Die Bruttoenergie der Versuchsdiäten lag bei 4.57, 4.66 und 4.66 kcal/g TS, entsprechend 2, 4 und 6 % Rohfasergehalt. Nach Einbeziehung des Bananen-Verzehrs betrug die Bruttoenergie der gesamten Diät für C.jacchus 4.48, 4.56 und 4.56 kcal/g TS, für S.fuscicollis 4.49, 4.55 und 4.55 kcal/g TS, jeweils entsprechend 2, 4 und 6 % Rohfasergehalt. Entsprechend der Verdaulichkeit der Trockensubstanz sank auch die Energieverdaulichkeit von 88 bzw. 86 % auf 76 bzw. 75 % bei steigendem Rohfasergehalt.

Die Verdaulichkeitskoeffizienten dieses Versuchs sind in Tabelle 11 aufgeführt. In Abbildung 3 ist der Einfluß von Weizenkleie auf die Verdaulichkeit von Rohfaser, Trockensubstanz und Energie graphisch dargestellt.

3.3.5. Hauptversuch IV. Rohfaserquelle Garnelenmehl

Bei dem hier untersuchten Garnelenmehl entspricht der mit 18.0 % bestimmte Rohfasergehalt qualitativ und in etwa auch quantitativ dem im Außenskelett der Garnelen enthaltenen Chitin. Neben Chitin bringt Garnelenmehl auch hohe Prozentsätze an Protein und Asche in

die Diäten ein. In diesem Versuch wurde das Chitin nach denselben Kriterien untersucht wie die Rohfaserquellen pflanzlicher Herkunft der anderen Versuche. In Tabelle 5 ist die Zusammensetzung der Versuchsdiäten aufgeführt.

Einfluß auf den Pelletverzehr und die Änderungen des Körpergewichts

Trotz des im allgemeinen relativ niedrigen Pelletverzehrs zeigten mit einer einzigen Ausnahme alle Versuchsgruppen Gewichtszunahmen (Tabelle 12).

Einfluß auf die Verdaulichkeit der Rohfaser

Die Rohfaserverdaulichkeit der 2 %-igen Diät betrug 42 bzw. 34 %. Sie erreichte damit Werte, die in demselben Bereich wie in den vorangegangenen Versuchen lagen. Bei einem Ansteigen des Gesamtrohfasergehalts auf 4 % (= 2.5 % Chitin + 1.5 % Rohfaser aus der Basisdiät) stieg die Rohfaserverdaulichkeit auf Werte von 50 bzw. 53 %. Ein Rohfasergehalt von 6 % (= 4.5 % Chitin + 1.5 % Rohfaser aus der Basisdiät) ließ bei C.jacchus die Rohfaserverdaulichkeit noch auf 51 % ansteigen, bei S.fuscicollis nur geringfügig auf 48 % fallen. Hiermit wurden bei diesem Versuch die höchsten Verdaulichkeitswerte für Rohfaser von allen vier Hauptversuchen ermittelt.

Einfluß auf die Verdaulichkeit der Trockensubstanz

Trotz einer hohen Rohfaserverdaulichkeit sank die Verdaulichkeit der Trockensubstanz von 86 bzw. 81 % auf Werte von 77 bzw. 73 %.

Tabelle 12: Einfluß auf den Pelletverzehr und die Änderungen des Körpergewichts

Gesamtrohfasergehalt	Spezies*	2 %	4 %	6 %
Pelletverzehr in % des KG	C	4.2	5.8	4.0
	S	4.6	3.3	2.9
Pelletverzehr in g/Tier/Tag	C	13	15	13
	S	13	12	11
Gewichtsänderungen in %	C	+4.0	+3.8	+0.9
	S	+0.7	+1.5	-4.1

Tabelle 13: Verdaulichkeitskoeffizienten bei Rohfaserquelle Garnelenmehl

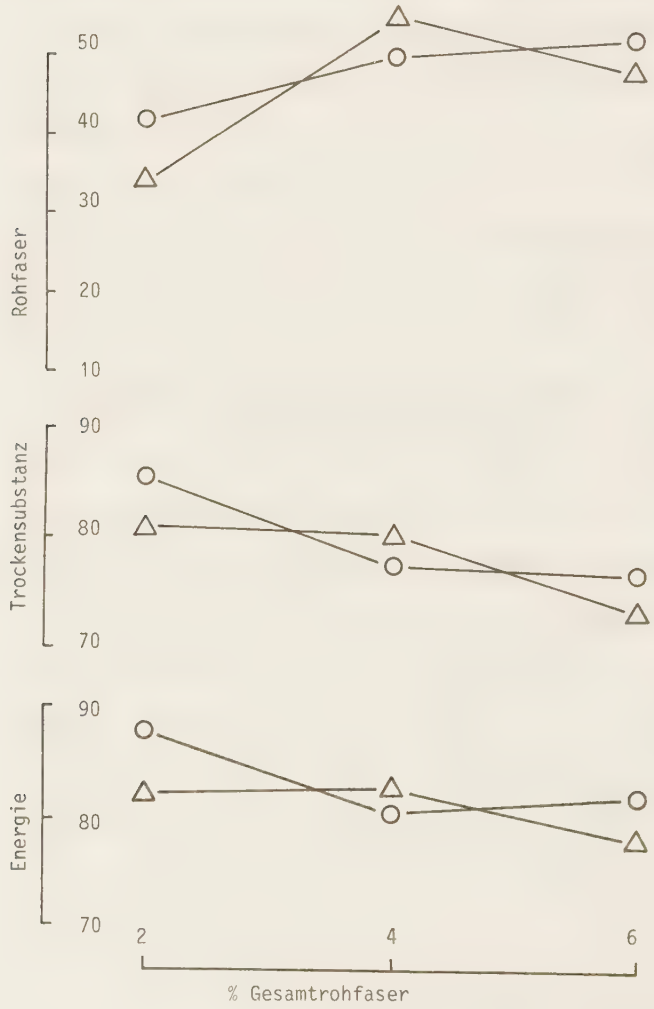
Gesamtrohfasergehalt	Spezies*	2 %	4 %	6 %
Rohfaser	C	0.42	0.50	0.51
	S	0.34	0.53	0.48
Trockensubstanz	C	0.86	0.78	0.77
	S	0.81	0.80	0.73
Energie	C	0.88	0.81	0.82
	S	0.83	0.82	0.78

* C. = Callithrix jacchus (n** = 2);
S. = Saguinus fuscicollis (n** = 3)

** n = Zahl der Versuchseinheiten

Abbildung 4: Einfluß von Garnehlenmehl auf die Verdaulichkeit von Rohfaser, Trockensubstanz und Energie

(○ = Callithrix jacchus; △ = Saguinus fuscicollis)



Einfluß auf die Verdaulichkeit der Energie

Die Bruttoenergie der Versuchsdiäten betrug 4.58, 4.55 und 4.50 kcal/g TS, entsprechend 2, 4 und 6 % Rohfasergehalt. Bei steigender Zugabe von Garnelenmehl ist hier ein deutlicher Rückgang der Bruttoenergie zu erkennen. Nach Einbeziehung des Bananen-Verzehrs lagen die Werte der Bruttoenergie für C.jacchus bei 4.49, 4.47 und 4.43 kcal/g TS und für S.fuscicollis bei 4.49, 4.46 und 4.42 kcal/g TS, jeweils entsprechend 2, 4 und 6 % Rohfasergehalt.

Das Absinken der Energieverdaulichkeit korreliert hier nicht - wie in den anderen Versuchen - mit der Verdaulichkeit der Trockensubstanz. Bei steigendem Rohfasergehalt sank die Energieverdaulichkeit, beginnend bei 88 bzw. 83 %, nur auf Werte von 82 bzw. 78 % bei der 6 %-igen Diät, die also deutlich höher lagen, als die hier erreichten Werte der Trockensubstanzverdaulichkeit.

Die Verdaulichkeitskoeffizienten dieses Versuchs sind in Tabelle 13 aufgeführt. In Abbildung 4 ist der Einfluß von Garnelenmehl auf die Verdaulichkeit von Rohfaser, Trockensubstanz und Energie graphisch dargestellt.

3.3.6. Passagezeit

In diesem Versuch wurde der Einfluß des Rohfasergehalts auf die Passagezeit bei zwei Rohfaserquellen untersucht. Hierfür wurden Weizenkleie und Mikro-Cellulose ausgewählt, zwei Rohfaserquellen, die sich in ihren physikalisch-chemischen Eigenschaften stark unterscheiden und somit auch unterschiedliche Wirkungen auf die Passage-

zeit zeigen könnten. Mit der hier angewandten Methodik, die sich nach einmaliger Fütterung einer farbindikatorhaltigen Diät auf das Maximum der Indikator-Ausscheidung in zweistündig gesammelten Kotproben bezieht, kann nicht von einer "mittleren" Passagezeit gesprochen werden. Ein etwaiger Einfluß auf die Passagezeit im Sinne einer Verkürzung oder Verlängerung kann aber doch mit dieser Methode ermittelt werden. Die Zusammensetzungen der Versuchsdiäten sind mit denjenigen in den entsprechenden Hauptversuchen identisch. Als Versuchstiere dienten hier nur Tiere der Spezies Saguinus fuscicollis. Jeweils vier Versuchseinheiten wurden pro Versuchsgruppe eingesetzt.

Einfluß von Weizenkleie auf die Passagezeit

Für die beiden Versuchsdiäten mit 2 bzw. 6 % Gesamtrohfasergehalt zeigte die Indikator-Ausscheidung unterschiedliche Maxima. Bei der 2 %-igen Diät lag das Indikator-Ausscheidungsmaximum bei 10 Stunden, bei der 6 %-igen Diät bei 6 Stunden nach der Futteraufnahme. Nach 28 Stunden wurden im Kot nur noch geringe Indikatorgehalte gefunden.

Einfluß von Mikro-Cellulose auf die Passagezeit

Für beide Versuchsdiäten lag das Maximum der Indikatorausscheidung bei 8 Stunden nach der Futteraufnahme, ein Einfluß höherer Cellulosegehalte auf die Passagezeit konnte somit nicht festgestellt werden.

In den Abbildungen 5 und 6 ist der Einfluß von Weizenkleie und Mikro-Cellulose auf die Passagezeit graphisch dargestellt.

Abbildung 5: Einfluß von Weizenkleie auf die Passagezeit

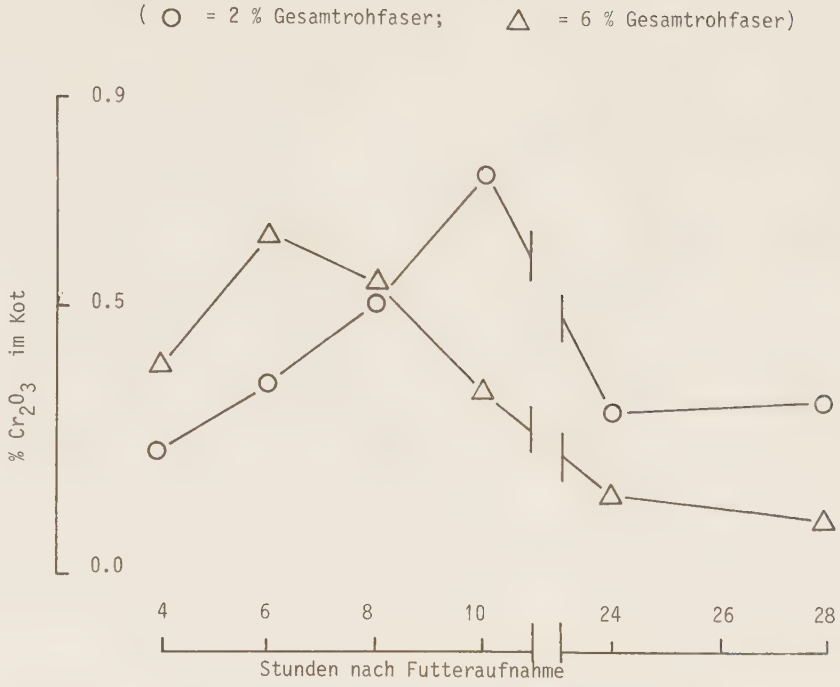


Abbildung 6: Einfluß von Mikro-Cellulose auf die Passagezeit

4. DISKUSSION

Nach den im Vorversuch ermittelten Ergebnissen sind Grünmehl, Trockenschnitzel und Malzkeime als Rohfaserquellen für Krallenaffen-Diäten wenig geeignet. Geringe Akzeptanz und schlechte Verträglichkeit kamen in dem mäßigen täglichen Pelletverzehr, verbunden mit Gewichtsabnahmen, sowie in hohen Wassergehalten des Kotes, verursacht durch häufige Durchfälle der Versuchstiere, zum Ausdruck. Ein Hauptgrund für die schlechte Akzeptanz bei diesen Rohfaserquellen dürfte die hohe Empfindlichkeit der Krallenaffen gegenüber bitteren Geschmackskomponenten sein.

Die in den Hauptversuchen eingesetzten Rohfaserquellen unterscheiden sich grundsätzlich. Weizenkleie ist eine "natürliche" Rohfaserquelle, die neben Ballaststoffen, hauptsächlich Cellulose und Hemicellulosen, auch Nährstoffe wie Protein, Nicht-Strukturkohlenhydrate, Fett, Mineralstoffe und Vitamine in die Diät einbringt. Die in der Weizenkleie enthaltenen Ballaststoffe liegen in ihrer natürlichen Struktur vor. Sie sind nicht durch spezielle Anreicherungsverfahren oder Reinigungsprozesse bearbeitet. Die Rohfaseranalyse unterschätzt den tatsächlichen Gehalt an Ballaststoffen von Weizenkleie, da der hohe Prozentsatz an Hemicellulosen nur zu einem geringen Anteil erfaßt wird.

Im Gegensatz dazu stehen die beiden gereinigten und zubereiteten Cellulosen. Sie bringen als Rohfaserquelle fast ausschließlich Cellulose in die Diät ein. Durch die Zubereitungsprozesse sind diese

Cellulosen zwar einerseits von dem engen Zusammenhang mit anderen Gerüstsubstanzen befreit, andererseits wurde aber ihre natürliche Faserstruktur mehr oder minder zerstört. In diesem Zusammenhang ist auch der Unterschied zwischen den beiden in den Versuchen eingesetzten Cellulosen zu sehen. Die sehr fein zermahlene, pulverförmige Mikro-Cellulose dürfte in ihrer natürlichen Faserstruktur weit mehr zerstört sein als die "grobe" Cellulose mit ihrer Flockengröße von 1 - 3 mm. Als reine Cellulosen werden diese beiden Rohfaserquellen durch die Rohfaseranalyse in ihrem tatsächlichen Rohfaser-oder Ballaststoffgehalt fast vollständig erfaßt. Da auf Grund der geringeren Partikelgröße der Mikro-Cellulose die Angriffsfläche für die Reagentien der Rohfaseranaylse größer ist und unter Umständen kleinste Partikel das Asbestfilter passieren können, ist der bestimmte Rohfasergehalt der Mikro-Cellulose etwas geringer als der der "groben" Cellulose.

Die im Garnelenmehl analysierte Rohfaser ist natürlich nicht pflanzlicher Natur, sondern entspricht dem im Außenskelett enthaltenen Chitin. Neben Chitin bringt Garnelenmehl allerdings auch hohe Mengen an Protein und Asche in die Diät ein. In der folgenden Diskussion der Versuchsergebnisse sollen nur "grobe" Cellulose, Mikro-Cellulose und Weizenkleie als "echte" Rohfaserquellen miteinander verglichen werden; die Ergebnisse des Versuchs mit Garnelenmehl als Rohfaserquelle sollen in einem eigenen Abschnitt erörtert werden.

Die Messung des durchschnittlichen täglichen Pelletverzehrs ergab für alle drei Rohfaserquellen Werte, die keinen deutlichen Bezug zum Rohfasergehalt der Diät erkennen lassen. Ein Ausgleich des bei

steigendem Rohfasergehalt sinkenden Gehalts an verdaulicher Energie in den Diäten durch eine erhöhte Futteraufnahme ist aus den ermittelten Werten nicht ersichtlich. Nur bei Versuch II (Mikro-Cellulose) ist für beide Spezies ein deutlicher Anstieg des Pelletverzehrs bei der 4 %-igen Diät zu verzeichnen. Auffällig ist bei allen Versuchen der prozentual auf das Körpergewicht bezogen geringere Pelletverzehr für die von Natur aus größeren S.fuscicollis-Tiere.

Bei den Versuchen mit "grober" Cellulose und Weizenkleie als Rohfaserquellen zeigten beide Spezies Gewichtsabnahmen bei steigendem Rohfasergehalt, nur bei Mikro-Cellulose waren deutliche Gewichtszunahmen für beide Spezies bei der 4 %-igen Diät, korrelierend mit den deutlich höheren Pelletaufnahmen, zu verzeichnen.

Bei den Verdaulichkeitsuntersuchungen ist zu betonen, daß hier jeweils nur die "scheinbare" Verdaulichkeit bestimmt wurde. Bei Rohfaser dürfte die scheinbare Verdaulichkeit der "wahren" Verdaulichkeit in etwa entsprechen, bei der Trockensubstanz- und Energieverdaulichkeit liegen die Werte der wahren Verdaulichkeit jedoch immer höher als die der hier bestimmten scheinbaren Verdaulichkeit, da ja auch Bakterien, deren Produkte, Verdauungssekrete und abgeschilferte Darmepithelzellen als unverdaute Substanz erfaßt werden.

Betrachtet man die Verdaulichkeitswerte der Diäten mit 2 % Gesamtrohfasergehalt, so ergibt sich für alle drei Versuche und für beide Spezies ein ähnliches Bild. Bei diesen Diäten stammte der Großteil, nämlich 1.5 % des Rohfasergehaltes, von der "natürlichen"

Rohfaser der einheitlichen Basisdiät, jeweils nur 0.5 % stammte aus den entsprechenden Rohfaserquellen. Demzufolge lagen die Verdaulichkeitswerte für Rohfaser, Trockensubstanz und Energie bei allen Versuchen in einem ähnlichen Bereich, ohne deutlichen Unterschied der beiden Spezies. Die errechneten Mittelwerte der Verdaulichkeitskoeffizienten von Rohfaser, Trockensubstanz und Energie aus den drei Versuchen betrugen 0.29 %, 0.85 % und 0.87 % für 2 % Rohfaser in der Diät.

Eine Erhöhung des Gesamtrohfasergehalts bis auf 6 % ergab dagegen unterschiedliche Wirkungen der eingesetzten Rohfaserquellen auf die Verdaulichkeit von Rohfaser, Trockensubstanz und Energie. So sank bei den beiden Cellulosen die Rohfaserverdaulichkeit bis auf Werte von knapp über 10 %, wobei für Mikro-Cellulose die Rohfaserverdaulichkeit schon bei der 4 %-igen Diät mit 12 % ihr Minimum erreichte. Trockensubstanz- und Energieverdaulichkeit sanken ebenfalls entsprechend dem steigenden Rohfasergehalt, allerdings im Mittel nur um 4 Prozenteinheiten für beide Versuche und beide Spezies (siehe Tabelle 14).

Aus diesen Ergebnissen ist ersichtlich, daß einerseits die Verdaulichkeit gereinigter Cellulosen bei beiden Spezies gering ist, andererseits die Verdaulichkeit von Trockensubstanz und Energie auch bei höheren Cellulosegehalten nicht wesentlich beeinflußt wird.

Die geringe Verdaulichkeit dieser präparierten Cellulosen ist wohl auf den durch die Verarbeitung erreichten hohen Gehalt an kristalliner Cellulose zurückzuführen, die dem bakteriellen Abbau eher wider-

steht als die nativen Cellulosen intakter Futtermittel. Dies ist auch eine Erklärung für den geringen Einfluß höherer Cellulosegehalte auf die Verdaulichkeit von Trockensubstanz und Energie. Mit dem erhöhten Gehalt an kristalliner Cellulose, bzw. mit dem durch die Verarbeitung erreichten Verlust der natürlichen Faserstruktur, dürften die wasser- und ionenbindenden Eigenschaften dieser Cellulosen mehr oder weniger verloren gegangen sein. Dies wird durch die Ergebnisse des Passagezeitversuchs bestätigt , die keinen deutlichen Einfluß höherer Aufnahmen von Mikro-Cellulose auf die Passagezeit der Jngesta erkennen lassen (siehe Tabelle 15).

Die Verdaulichkeitskoeffizienten und die Ergebnisse des Passagezeitversuchs für die Rohfaserquelle Weizenkleie zeigen dagegen ein vollkommen anderes Bild. Hier erreichte die Rohfaserverdaulichkeit bei der 4 %-igen Diät für beide Spezies einen Wert von 38 %, lag also höher als die der 2 %-igen Diät, deren Rohfaser ja hauptsächlich aus der Basisdiät stammte. Bei der 6 %-igen Diät wurde für C. jacchus sogar ein Wert von 40 % erreicht.

Diese Ergebnisse zeigen, daß - im Gegensatz zu den untersuchten Cellulosen - die Verdaulichkeit der in der Weizenkleie bestimmten Rohfaser höher ist als die Verdaulichkeit der in der Basisdiät enthaltenen Rohfaser. Auch bei 6 % Rohfaser in der Diät ist keine deutliche Depression der Rohfaserverdaulichkeit zu erkennen (siehe Tabelle 14).

Dagegen zeigen die Verdaulichkeitskoeffizienten eine deutliche Depression der Energie- und Trockensubstanzverdaulichkeit bei steigendem Rohfasergehalt. Die Verdaulichkeit von Energie und Trockensubstanz sank im Mittel um 11 Prozenteinheiten auf Werte von ca.

75 % bei der 6 %-igen Diät (siehe Tabelle 14). Dies läßt sich einmal dadurch erklären, daß die Weizenkleie neben der durch die Rohfaseranalyse hauptsächlich erfaßten Cellulose einen hohen Prozentsatz anderer, teils unverdaulicher Komponenten in die Diät einbringt, wie Hemicellulosen, andere Nährstoffe und Asche. Zum anderen dürften, bei einem hohen Gehalt an Weizenkleie in der Diät, die absorbtiven Eigenschaften der in ihr zu einem hohen Prozentsatz enthaltenen Ballaststoffe deutlich in Erscheinung treten.

Ein weiterer Grund für die Depression der Trockensubstanz- und Energieverdaulichkeit bei erhöhten Gaben von Weizenkleie ist die Verkürzung der Passagezeit. Wie der Versuch zeigte, lag das Maximum der Indikator-Ausscheidung bei der Diät mit 2 % Rohfaser bei 10 Stunden, bei der Diät mit 6 % Rohfaser (4,5 % aus Weizenkleie) bei 6 Stunden nach der Futteraufnahme (siehe Tabelle 15). Durch die verkürzte Passagerate bleibt für die Verdauungs- und Resorptionsvorgänge von Nährstoffen weniger Zeit, die Verdaulichkeit von Nährstoffen ist somit erniedrigt. Das vergrößerte Kotvolumen, Hauptursache für die Verkürzung der Passagezeit, wurde durch eine grobsinnliche Kotbeurteilung bestätigt. Das Kotvolumen vergrößerte sich bei steigendem Rohfasergehalt in der Diät bis auf das ca. Dreifache bei der 6 %-igen Diät. Höhere Gehalte an Cellulosen in der Diät zeigten keinen so deutlichen Einfluß auf das Kotvolumen.

Zu erwähnen sind aber auch eine durch den hohen Gehalt an Ballaststoffen verursachte Stimulation des Bakterienwachstums und damit verbunden ein erhöhtes Ausscheiden an Bakterien und deren Abbau-

Tabelle 14: Einfluß unterschiedlicher Rohfaserquellen auf die Energie- und Rohfaserverdaulichkeit (beide Spezies)

% Rohfaser in der Diät	Verdaulichkeit, %			
	Energie		Rohfaser	
	Cellulose*	Kleie	Cellulose*	Kleie
2	87	87	33	22
6	83	76	14	36

* Mittelwerte beider Cellulosen

Tabelle 15: Einfluß verschiedener Rohfaserquellen auf die Passagezeit der Ingesta (S. fuscicollis)

% Rohfaser in der Diät	Maximum der Indikatorausscheidung (Stunden nach Futteraufnahme)	
	Mikro-Cellulose	Weizenkleie
2	8	10
6	8	6

bzw. Syntheseprodukten. Auch eine durch das vergrößerte Kotvolumen stärkere mechanische Erosion an der Darmmukosa und somit eine erhöhte Abschilferung des Darmepithels sind als Faktoren in Erwägung zu ziehen, die eine Erniedrigung der scheinbaren Verdaulichkeit von Trockensubstanz und Energie bei erhöhten Ballaststoffaufnahmen verursachen können.

Eine abschließende Beurteilung der in dieser Arbeit eingesetzten Rohfaserquellen und Rohfasergehalte läßt die folgenden Schlußfolgerungen zu:
Bezüglich Akzeptanz und Verträglichkeit sind gereinigte Cellulosen und Weizenkleie günstige Rohfaserquellen für Krallenaffendiäten. Bei Weizenkleie, als "natürliche" Rohfaserquelle geeignet für "natural ingredient diets", sollte der Gesamtrohfasergehalt der Diät 4 % nicht übersteigen, da bei höheren Rohfaserkonzentrationen eine deutliche Depression der Energie- und Trockensubstanzverdaulichkeit, sowie ein starker laxativer Effekt eintreten.

Gereinigte Cellulosen werden von Krallenaffen schlecht verdaut und bieten sich somit als tatsächliche Ballaststoffe ("nonnutritive bulk") für "semipurified diets" an. Auf Grund des geringen Einflusses auf die Energie- und Trockensubstanzverdaulichkeit und auf die Passagerate dürften auch höhere Cellulosekonzentrationen von Krallenaffen vertragen werden.

Eine endgültige Beurteilung des für Krallenaffen optimalen Rohfasergehalts in der Diät erfordert allerdings langfristige Versuche, die auch andere Kriterien wie Wachstum, Fruchtbarkeit, sowie klinische Aspekte erfassen.

Bei Garnelenmehl als Rohfaserquelle interessierte vor allem die Verdaulichkeit des als Rohfaser bestimmten Chitins. Sowohl bei der 4 %-igen Diät (1.5 % Rohfaser, 2.5 % Chitin) als auch bei der 6 %-igen Diät (1.5 % Rohfaser, 4.5 % Chitin) wurden Rohfaserverdaulichkeitswerte von über 50 % erreicht, wobei deutliche Speziesunterschiede nicht zu verzeichnen waren. Aus diesen Ergebnissen ist ersichtlich, daß Krallenaffen Chitin weit besser verdauen können als Rohfaser aus höheren Pflanzen oder reine Cellulose. Trotz eines relativ niedrigen Pelletverzehrs zeigten beide Spezies auch bei höheren Chitinkonzentrationen in der Diät mit einer Ausnahme Gewichtszunahmen. Bei einem starken Absinken der Trockensubstanzverdaulichkeit bis auf 75 %, was hauptsächlich auf den hohen Aschegehalt des Garnelenmehls zurückzuführen ist, fiel die Energieverdaulichkeit nur bis auf 80 %. Ballaststoffwirkungen, wie eine drastische Depression der Energieverdaulichkeit, konnten für Chitin nicht festgestellt werden.

Die hohe Chitinverdaulichkeit bei Krallenaffen ist zumindest zu einem Teil auf mikrobielle Abbauprozesse zurückzuführen. Ob auch körpereigene, chitinolytische Enzyme an der Spaltung des Chitins beteiligt sind, ob die Verdauungsprodukte des Chitins resorbiert werden und ob der Organismus der Tiere aus dem verdauten Chitin bzw. seinen Spaltungsprodukten einen Nutzen ziehen kann, wäre im einzelnen noch zu prüfen.

5. ZUSAMMENFASSUNG

An den Krallenaffenspezies Callithrix jacchus und Saguinus fuscicollis wurde der Einfluß der Rohfaser in der Diät (pelletiertes Alleinfutter) auf Mengenverzehr, Kotbeschaffenheit, Trockensubstanzverdaulichkeit, Energieverdaulichkeit und Passagezeit der Ingesta untersucht. Die Verdauungskoeffizienten, auch die der Rohfaser selbst, wurden mittels Indikator (Cr_2O_3) bestimmt.

In einem Vorversuch (6 % Rohfaser) wurden Grünmehl, Trockenschnitzel und Malzkeime wegen ungünstiger Auswirkungen auf Akzeptanz und Kotbeschaffenheit ausgeschlossen.

Die Verdauungskoeffizienten der Rohfaser bei "grober" Cellulose (ca. 90 % Rohfaser) wurden mit 0.29, 0.19 und 0.12, diejenigen bei Mikro-Cellulose (ca. 80 % Rohfaser) mit 0.37, 0.12 und 0.15 bestimmt, jeweils entsprechend 2, 4 und 6 % Gesamtrohfasergehalt der Diät.

Die Verdauungskoeffizienten der Rohfaser bei Weizenkleie (ca. 17 % Rohfaser) lagen bei 0.22, 0.38 und 0.36, entsprechend 2, 4 und 6 % Gesamtrohfasergehalt der Diät. Bei lockerer Konsistenz des Kotes stieg das Kotvolumen bei 6 % Rohfaser auf das ca. Dreifache an.

Konzentrationen von 6 % Rohfaser bewirkten bei "grober" Cellulose und Mikro-Cellulose eine leichte (von ca. 0.87 auf ca. 0.83), bei Weizenkleie eine deutliche Depression (von ca. 0.87 auf ca. 0.76) der Verdaulichkeit der Energie.

Bei Weizenkleie als Rohfaserquelle lag das Maximum der Indikatorausscheidung bei 10 bzw. 6 Stunden nach der Futteraufnahme, entsprechend 2 bzw. 6 % Rohfaser. Bei Mikro-Cellulose lag für beide Diäten das Maximum bei 8 Stunden.

Cellulose und Weizenkleie sind als günstige Rohfaserquellen für Krallenaffen-Diäten zu beurteilen. Bei Weizenkleie sollte auf Grund der hohen Verdaulichkeitsdepression der Energie ein Rohfasergehalt von 4 % in der Diät nicht überschritten werden. Cellulose dürfte von Krallenaffen auch in höheren Konzentrationen gut vertragen werden.

Chitin aus Garnelenmehl (18 % Rohfaser) war bei 4 und 6 % Rohfaser (= 2.5 % und 4.5 % Chitinzusatz in der Diät) zu 52 bzw. 50 % verdaulich. Es wird vorwiegend mikrobielle Verdauung angenommen, aber auch eine Beteiligung körpereigener, chitinolytischer Enzyme wird als möglich angesehen.

Bei den meisten Kriterien bestanden keine auffälligen Unterschiede zwischen C. jacchus und S. fuscicollis.

SUMMARY

THE INFLUENCE OF DIETARY FIBRE LEVELS ON PASSAGE RATE AND THE DIGESTIBILITY OF ENERGY, CRUDE FIBRE, CELLULOSE AND CHITIN IN MARMOSETS.

The influence of dietary fibre on feed intake, consistency of feces, rate of passage and on digestibility of energy and fibre was studied in the two species Callithrix jacchus and Saguinus fuscicollis. Digestibility and passage rate were determined by inclusion of Cr_2O_3 in the pelleted diet.

Dehydrated alfalfa, dried beet pulp and malt sprouts were excluded from further studies due to poor acceptability and increased water content of the feces.

Digestibility of coarse cellulose (90 % fibre) was 29, 19 and 12 %, respectively at fibre levels of 2, 4 and 6 % in the diet. At these levels, micro-cellulose (80 % fibre) showed digestibility levels of 37, 12 and 15 %.

Crude fibre digestibility of wheat bran (17 % fibre) was 22, 38 and 36 % at fibre levels of 2, 4 and 6 %. With wheat bran 6 % fibre did lead to a tripled feces volume of spongy consistency.

Levels of 6 % fibre depressed energy digestibility from 87 % to 83 % in the case of both celluloses and from 87 % to 76 % with wheat bran as a fibre source.

6 % fibre from wheat bran reduced passage time (maximum of Cr_2O_3 concentration in feces) from 10 to 6 hours after start of the meal. Micro-cellulose had no significant influence on the passage rate of ingesta.

Cellulose and wheat bran seem to be suitable fibre sources for marmoset diets. With wheat bran, fibre levels should not exeed 4 % in the diet, because of its pronounced depressing influence on energy digestibility and passage time.

Chitin from shrimp meal (18 % "fibre") at levels of 4 and 6 % "fibre" (= 2.5 % and 4.5 % added Chitin in the diet) yielded digestibility coefficients of 0.52 and 0.50, respectively. It is assumed the microbial digestion is mainly responsible, but the chitinolytic action from enzymes of the digestive tract is also possible.

No differences of importance were detected between Callithrix jacchus and Saguinus fuscicollis.

6. LITERATURVERZEICHNIS

1. **AUSMAN**, L.M., and D.L. GALLINA, 1979
Liquid formulas and protein requirements of nonhuman primates.
In: Primates in Nutritional Research. (Ed.: K.C. Hayes), Academic Press, New York, 1979, pp. 39-57

2. **BEERTON-JOLY**, B., A. PIAVAUX, and M. GOFFART, 1974
Quelques enzymes digestives chez un Prosimian.
C.R. séances Soc. Biol. 168, 140-143

3. **BERG**, B., B.v. HOFSTEN, and G. PETTERSSON, 1972
Electronmicroscopic Observations on the Degradation of Cellulose Fibres by Cellvibrio fulvus and Sporocytophaga myxococcoides.
J.appl. Bact. 35, 215-219

4. **BERGER**, L.R., and D.M. REYNOLDS, 1958
The chitinase system of a strain of Streptomyces griseus.
Biochim. Biophys. Acta 29, 522-534

5. **BERGER**, L.R., and R.S. WEISER, 1957
The ß-glucosaminidase activity of egg-white lysozyme.
Biochim. Biophys. Acta. 26, 517-521

6. **BLACK**, M.M. and H.M. SCHWARTZ, 1950
The estimation of chitin and chitin nitrogen in crawfish waste and derived products.
Analyst 75, 185-188

7. **BRODRIBB**, J., R.E. CONDON, V. COWLES, and J.J. DeCOSSE, 1980
Influence of Dietary fiber on Transit Time, Fecal Composition, and Myoelectrical Activity of the Primate Right Colon.
Digestive Diseases and Sciences, 25 (4), 260-266

8. **BURKITT**, D.P., 1971
Epidemiology of cancer of the colon and rectum.
Cancer (Philad.) 28, 3-13

9. **BURKITT**, D.P., 1972
Varicose veins, deep vein thrombosis and haemorrhoids epidemiology and suggested aetiology.
Brit.Med.J. 2, 556-561

10. **BURKITT**, D.P., 1973
Epidemiology of large bowel disease: the role of fibre.
Proc. Nutr. Soc. 32, 145-149

11. **BURKITT**, D.P., A.R.P. WALKER, and N.S. PAINTER, 1972
Effect of dietary fiber on stools and transit-times and its role in the causation of disease.
Lancet 2, 1408-1411

12. **BURKITT**, D.P., and P.A. JAMES, 1973
Low-residue diets and hiatus hernia.
Lancet 2, 128-130

13. **CAMPBELL**, L.A., and G.H. PALMER, 1978
Pectin.
In: Topics in dietary fiber research (Ed.: G.A. Spiller) Plenum Press, New York, pp. 105-115

14. **COIMBRA-FILHO**, A.F., and R.A. MITTERMEIER, 1978
Tree-gouging, Exudate-eating and the "Short tusked" Condition in CALLITHRIX and CEBUELLA.
In: Biology and Conservation of the Callithricidae. (Ed.: D.G. Kleiman), Smithsonian Institute, 1978, pp. 105-115

15. **CORNELIUS**, C., G. DANDRIFOSSE, and Ch. JEUNIAUX, 1975
Biosynthesis of Chitinases by Mammals of the Order Carnivora.
Biochem. System. Ecol. 3, 121-122

16. **CORNELIUS**, C., G. DANDRIFOSSE, and Ch. JEUNIAUX, 1976
Chitinolytic enzymes of the gastric mucosa of PERODICTIUS POTTO (primate prosimian): Purification and enzyme specificity.
Int. J. Biochem. 7, 445-448

17. **CRAMPTON**, E.W., and L.A. MAYNARD, 1938
The relation of cellulose and lignin content to the nutritive value of animal feeds.
J. Nutr. 15, 383-395

18. **CRAMPTON**, E.W., M.I. ERWIN, L.E. LLOYD, and H.R. NEILSON, 1951
The apparent digestibility of essentially similar diets by rats, guinea pigs, sheep, swine and by human subjects.
J. Nutr. 43, 541-550

19. **CUMMINGS**, J.H., 1973
Progress report.
Dietary fibre.
Gut 14, 69-81

20. **CUMMINGS**, J.H., 1976
What is fiber?
In: Fiber in human nutrition (Ed.: G.A. Spiller and R.J. Amen) Plenum Press, New York, pp. 1-30

21. **CUNNINGHAM**, H.M., D.W. FRIEND, and J.W.G. NICHOLSON, 1962
The effect of age, body weight, feed intake and adaptability of pigs on the digestibility and nutritive value of cellulose.
J. Can. Anim. Sci. 42, 167-175

22. **CYMBALUK**, N.F., A.J. GORDON, and T.S. NEUDOERFFER, 1973
The effect of the chemical composition of maize plant lignin on the digestibility of maize stalk in the rumen of cattle.
Br. J. Nutr. 29, 1-12

23. **DANDRIFOSSE**, G., 1975
Purification of chitinases contained in pancreas or gastric mucosa of frog.
Biochimie 57, 829-831

24. **DEVIGNE**, J., et Ch. JEUNIAUX, 1961
Origine tissulaire des enzymes chitinolytiques intestinaux des Lombrics.
Arch. Internat. Physiol. Bioch. 69, 223-234

25. **EASTWOOD**, M.A., 1973
Vegetable fibre: its physical properties.
Proc. Nutr. Soc., 32, 137-143

26. **EASTWOOD**, M.A., T. HAMILTON, J.T. KIRKPATRICK and W.D. MITCHELL, 1973
The effects of dietary supplements of wheat bran and cellulose on feces.
Proc. Nutr. 32, 22 A

27. **EASTWOOD**, M.A., J. EASTWOOD, and M. WARD, 1976
Epidemiology of bowel diseases.
In: Fiber in human nutrition. (Ed.: G.A. Spiller and R.J. Amen) Plenum Press, New York, pp. 207-240

28. **EASTWOOD**, M.A., and W.D. MITCHELL, 1976
Physical Properties of Fiber: A Biological Evaluation.
In: Fiber in human nutrition. (Ed.: G.A. Spiller and R.J. Amen) Plenum Press, New York, pp. 109-129

29. **FLURER**, C., 1981
Untersuchungen zur Eignung verschiedener Proteinquellen bei Krallenaffen.
Dissertation, München

30. **FONNESBECK**, P.V., L.E. HARRIS, and L.C. KEARL, 1974
Digestion of plant cell walls by animals.
J. Animal. Sci. 39, 182

31. **FRASER**, J.R., and D.C. HOLMES, 1959
Proximate analysis of wheat flour carbohydrates, IV. Analysis of wholemeal flour and some of its fractions.
J. Sci. Fd. Agric. 10, 506-512

32. **GARCIA**, F.G., 1976
Primate husbandry and reproduction.
In: First Inter-American Conference in Conservation and Utilization of American Nonhuman Primates in Biomedical Research, Lima, 1975
Pan American Health Organization. Scientific Publication No. 317, 1976, pp. 51-64

33. **GORDON**, A.J., 1978
The chemical structure of lignin and quantitative and qualitative methods of analysis in foodstuffs.
In: Topics in dietary fiber research (Ed.: G.A. Spiller), Plenum Press, New York, pp. 59-103

34. **HARDINGE**, M.G.H., 1978
Plant Fibers and Human Health.
In: Topics in dietary fiber research. (Ed.: G.A. Spiller), Plenum Press, New York, pp. 117-126

35. **HARVEY**, R.F., E.W. POMARE, and K.W. HEATON, 1973
Effects of increased dietary fibre on intestinal transit.
Lancet 1, 1278-1280

36. **HELLENDOORN**, E.W., M.G. NOORDHOFF, and J. SLAGMAN, 1975
Enzymatic determination of the indigestible residue (dietary fiber) content of human food.
J. Sci. Fd. Agric. 26, 1461-1468

37. **HENKEL**, H., und E. SCHULTZ, 1980
Was ist Ballast?
Schriftenreihe der Agrarwissenschaftlichen Fakultät der Universität Kiel, Heft 61, 215-223

38. **HERSHKOVITZ**, P., 1977
Living New World Monkeys, Vol. I, University of Chicago Press

39. **HINTZ**, H.F., D.E. HOGUE, E.F. WALKER, J.E. LOWE, and H.F. SCHRIVER, 1971
Apparent digestion in various segments of the digestive tract of ponies, fed diets with varying roughage-grain ratios.
J. Animal. Sci. 32, 245-248

40. **HOFFMANN**, B., und K. NEHRING, 1969
Untersuchungen zur Weiterentwicklung der Futtermittelanalyse.
2. Mitteilung: Die Bestimmung der Kohlenhydrate in den Futtermitteln.
Arch. Tierernährung 19, 651-670

41. **HOPPERT**, C.A., and A.J. CLARK, 1945
Digestibility and effect on laxation of crude fiber and cellulose in common foods.
J. Am. Diet. Assoc. 21, 157-160

42. **HUMMEL**, F.C., M.L. SHEPHERD, and I.G. MACY, 1943
Disappearence of cellulose and hemicellulose from the digestive tracts of children.
J. Nutr. 25, 59-70

43. **IZAWA**, K., 1978
A Field Study of the Ecology and Behavior of the Black-mantle Tamarin (Saguinus nigricollis).
Primates 19 (2), 241-274

44. **JENKINS**, D.J.A., M.S. HILL and J.H. CUMMINGS, 1975
Effect of wheat fiber on blood lipids, fecal steroid excretion and serum iron.
Am. J. Clin. Nutr. 28, 1408-1411

45. **JEUNIAUX**, Ch., 1958
Recherches sur les chitinases I. - Dosage néphélometrique et production de chitinase par des Streptomycètes.
Arch. Internat. Physiol. Biochim. 66, 408-427

46. **JEUNIAUX**, 1963
Chitine et Chitinolyse.
Un chapitre de la biologie moléculaire.
Masson, Paris

47. **KAY**, R.F., and W.S. SHEINE, 1979
On the relationship between chitin particle size and digestibility in the primate GALAGO SENEGALENSIS.
Am. J. Phys. Anthrop. 50, 301-308

48. **KERR**, G.R., 1972
Nutritional Requirements of Subhuman Primates.
Physiological Reviews 52, No. 2, 415-467

49. **KEYS**, J.E., P.J. VAN SOEST, and E.P. YOUNG, 1969
Comparative study of the digestibility of forage cellulose and hemicellulose in ruminants and nonruminants.
J. Animal. Sci. 29, 11-15

50. **KEYS**, J.E., P.J. VAN SOEST, and E.P. YOUNG, 1970
Effect of increasing dietary cell wall content on the digestibility of hemicellulose and cellulose in swine and rats.
J. Animal. Sci. 31, 1172-1177

51. **KING**, G., 1975
Feeding and Nutrition of the Callithricidae at the Jersey Zoological Parc.
Twelfth Annual Report, Extract from the Jersey Wildlife Preservation Trust, 1975

52. **KING**, G.J., 1978
Comparative feeding and nutrition in captive, non-human primates.
Br. J. Nutr. 40, 55-62

53. **KINGSTON**, W.R., 1969
Marmosets and Tamarins.
Lab. Anim. Handb. 4, 243-250

54. **KNAPKA**, J.J., and M.L. MORIN, 1979
Open formula natural ingredient diets for nonhuman primates.
In: Primates in Nutritional Research. (Ed.: K.C. Hayes) Academic Press, New York, 1979, pp. 121-138

55. **KÜHL**, J., J. NITTINGER und G. SIEBERT, 1978
Verwertung von Krillschalen in Fütterungsversuchen an der Ratte.
Arch. Fisch Wiss. 29, 1/2, 99-103

56. **LANG**, J.A., and G.M. BRIGGS, 1976
The Use and Function of Fiber in Diets of Monogastric Animals.
In: Fiber in human nutrition. (Ed.: G.A. Spiller and R.J. Amen) Plenum Press, New York, pp. 151-169

57. **MACHADO**, A., und O.C. LEITE, 1957
Goma de cajueiro.
Boletin do Instituto de Quimica Agricola 50, 7-15
zitiert nach COIMBRA-FILHO and MITTERMEIER, 1978

58. **MANGOLD**, D.E., 1934
The digestion and utilization of crude fibre.
Nutr. Abstr. Rev. 3, 647-656

59. **McCANCE**, R.E., and R.D. LAWRENCE, 1929
The carbohydrate content of foods.
Spec. Rep. Ser. Med. Res. Counc. 135,
zitiert nach D.A.T. SOUTHGATE, 1973

60. **McCANCE**, R.A., K.M. PRIOR, and E.M. WIDDOWSON, 1953
A Radiological Study of the Rate of Passage of Brown and White Bread through the Digestive Tract of Man.
Br. J. Nutr. 7, 98-104

61. **MICHA**, J.C., G. DANDRIFOSSE, and Ch. JEUNIAUX, 1973
Activités des chitinases gastriques de reptiles en fonction du pH.
Arch. Int. Physiol. Bioch. 51, 629-637

62. **MILTON-THOMPSON**, G.J., and B. LEWIS, 1971
The Breakdown of Dietary Cellulose in Man.
Gut 12, 853-854

63. **MORIN**, M.L., D.M. RENQUIST, J. KNAPKA, and F.J. JUDGE, 1978
The effect of dietary crude fiber levels on rhesus monkeys during quarantine.
Laboratory Animal Science 28, No. 4, 405-411

64. **MUZZARELLI**, R., 1977
Chitin.
Pergamon Press, Oxford

65. **NAPIER**, J.R., and P.H. NAPIER, 1967
A Handbook of Living Primates.
Academic Press, New York

66. **NEWBERNE**, P.M., and K.C. HAYES, 1979
Semipurified diets for nonhuman primates.
In: Primates in Nutritional Research (Ed.: K.C. Hayes), Academic Press, New York, 1979, pp. 99-119

67. **NICOLOSI**, R.J., and R.D. HUNT, 1979
Dietary allowances for nutrients in nonhuman primates.
In: Primates in Nutritional Research. (Ed.: K.C. Hayes), Academic Press, New York, 1979, pp. 11-37

68. **PAINTER**, N.S., and D.P. BURKITT, 1971
Diverticular Disease of the Colon: a Deficiency Disease of Western Civilization.
Brit. Med. J. 2, 450-454

69. **PAINTER**, N.S., A.Z. ALMEIDA, and K.W. COLEBOURNE, 1972
Unprocessed bran in treatment of diverticular disease of the colon.
Brit. Med. J. 2, 137-140

70. **PATTON**, R.S., and P.T. CHANDLER, 1975
In Vivo Digestibility Evaluation of Chitinous Materials.
J. Dairy Sci. 58, 397-403

71. **PATTON**, R.S., P.T. CHANDLER, and O.G. GONZALEZ., 1975
Nutritive Value of Crab Meal for Young Ruminating Calves.
J. Dairy Sci. 58, 404-409

72. **PAYLER**, D.K., E.W. POMARE, K.W. HEATON, and R.F. HARVEY, 1975
The effect of wheat bran on intestinal transit.
Gut 16, 209-213

73. **PETRY**, H., und W. RAPP, 1971
Zur Problematik der Chromoxidbestimmung in Verdauungsversuchen.
Z. Tierphysiol., Tierernährg. u. Futtermittelkde. 27, 181-189

74. **PIEPMEYER**, J.L., 1974
Use of unprocessed bran in treatment of irritable bowel syndrome.
Am. J. Clin. Nutr. 27, 106-107

75. **POTTER**, L.M., and J.R. SHELTON, 1973
Evaluation of crab meal as a dietary ingredient for young turkeys.
Brit. Poult. Sci. 14, 257-261

76. **RUDALL**, K.M., 1955
The distribution of collagen and chitin.
Symposia of the Society for Experim. Biol. 9, 49-71

77. **SLADE**, L.M., and H.F. HINTZ, 1969
Comparison of digestion in horses, ponies, rabbits and guinea pigs.
J. Animal. Sci. 28, 842-843

78. **SMITHIES**, W.R., 1953
The Lysing Action of Enzymes on a Sample of Mycelium of Penicillium griseofulvum Dierckx.
Biochem. J. 55, 346-350

79. **SOUTHGATE**, D.A.T., 1969a
Determination of carbohydrates in food.
I. Available carbohydrates.
J. Sci. Fd. Agric. 20, 326-330

80. **SOUTHGATE**, D.A.T., 1969b
Determination of carbohydrates in food.
II. Unavailable carbohydrates.
J. Sci. Fd. Agric. 20, 331-335

81. **SOUTHGATE**, D.A.T., 1973
Fibre and the other unavailable carbohydrates and their effects on the energy value of the diet.
Proc. Nutr. Soc. 32, 131-136

82. **SOUTHGATE**, D.A.T., 1976
The Chemistry of Dietary Fiber.
In: Fiber in human nutrition. (Ed.: G.A. Spiller and R.J. Amen), Plenum Press, New York, pp. 31-72

83. **SOUTHGATE**, D.A.T., and J.V.G.A. DURNIN, 1970
Calorie conversion factors. An experimental reassessment of the factors used in the calculation of the energy value of human diets.
Br. J. Nutr. 24, 517-535

84. **SPILLER**, G.A., and R.J. AMEN, 1975
Plant fibers in nutrition: need for better nomenclature.
Am. J. Clin. Nutr. 28, 675-676

85. **STORY**, J.A., and D. KRITCHEVSKY, 1976
Dietary Fiber and Lipid Metabolism.
In: Fiber in human nutrition. (Ed.: G.A. Spiller and R.J. Amen), Plenum Press, New York, pp. 171-184

86. **THORINGTON**, R.W. 1970
Feeding behaviour of nonhuman primates in the wild.
In: Feeding and Nutrition of Nonhuman primates (Ed.: R.S. Harris), Academic Press, New York, pp. 15-27

87. **TRACEY**, M.V., 1955
Chitinase in some Basidiomycetes.
Biochem. J. 61, 579-586

88. **TROWELL**, H.C., 1972a
Crude fiber, dietary fiber and atherosclerosis.
Atherosclerosis 16, 138-140

89. **TROWELL**, H.C., 1972b
Ischemic heart disease and dietary fiber.
Am. J. Clin. Nutr. 25, 926-932

90. **TROWELL**, H.C. 1974
Definitions of fiber.
Lancet 1, 503

91. **TYLER**, C., 1975
Albrecht Thaers Hay Equivalents: Fact or Fiction?
Nutr. Abstr. Rev. 45, 1-11

92. **VAN SOEST**, P.J., 1963a
Use of detergents in the analysis of fibrous feeds.
I. Preparation of fiber residues of low nitrogen content.
J. Assoc. Off. Argic. Chem. 46, 825-829

93. **VAN SOEST**, P.J., 1963b
Use of detergents in the analysis of fibrous feeds.
II. A rapid method for the determination of fiber and lignin.
J. Assoc. Off. Agric. Chem. 46, 829-833

94. **VAN SOEST**, P.J., 1973
The uniformity and nutritive availability of cellulose.
Fed. Proc. 32, 1804-1808

95. **VAN SOEST**, P.J., and R.W. McQUEEN, 1973
The chemistry and estimation of fibre.
Proc. Nutr. Soc. 32, 123-130

96. **WALKER**, A.R.P., 1976
Gastrointestinal Diseases and Fiber Intake with Special References to South African Populations.
In: Fiber in human nutrition. (Ed.: G.A. Spiller and R.J. Amen), Plenum Press, New York, pp. 241-261

97. WILLIAMS, R.D., and W.H. OLMSTED, 1935
A biochemical method for determining indigestible residue (crude fiber) in feces: Lignin, cellulose and non-watersoluble hemicelluloses.
J. Biol. Chem. 108, 653-666

98. WILLIAMS, R.D., and W.H. OLMSTED, 1936
The effect of cellulose, hemicellulose and lignin on the weight of the stool: a contribution to the study of laxation in man.
J. Nutr. 11, 433-449

99. **WOODMAN**, H.E., 1930
The role of cellulose in nutrition.
Biol. Rev. 5, 273-295

Herrn Prof. Dr. H. Zucker möchte ich für die Überlassung des Themas und die freundliche, jederzeit gewährte Unterstützung bei der Durchführung dieser Arbeit aufrichtig danken.

Darüberhinaus gilt mein Dank allen, die zum Gelingen dieser Arbeit beigetragen haben. Insbesondere Frau M. Kroczek möchte ich für ihr entgegenkommendes Interesse bei technischen Problemen danken.

Besonders danken möchte ich Herrn Prof. Dr. F. Deinhardt für die Möglichkeit, Tierversuche am Max von Pettenkofer-Institut für Hygiene und Medizinische Mikrobiologie der Universität München mit Unterstützung durch das Institutspersonal durchführen zu können. Frau Dr. R. Scheid und Frau Dr. C. Flurer sei für die betreuende Zusammenarbeit bei den Tierversuchen gedankt.

LEBENSLAUF

22.07.1952	geboren in München. Vater Camillo Krombach, Versicherungsangestellter, verstorben am 12.03.1978; Mutter Eva Krombach, geb. Loeper.
1958 - 1962	Besuch der St.-Anna-Volksschule in München
1962 - 1972	Besuch des Wilhelms-Gymnasiums in München
23.06.1972	Abitur
WS 1972/73	Immatrikulation an der Ludwig-Maximilians-Universität München im Fachbereich Tiermedizin
Feb. 1974 - Mai 1975	Wehrdienst
23.08.1979	Staatsexamen in Tiermedizin
26.10.1979	Approbation als Tierarzt
seit 01.02.1980	Wissenschaftliche Hilfskraft am Institut für Physiologie, Physiologische Chemie und Ernährungsphysiologie des Fachbereichs Tiermedizin der Universität München und Anfertigung der vorliegenden Dissertation am gleichen Institut